

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.ДВ.04.02 Компьютерные сети

Направление подготовки 38.03.02 Менеджмент

Профиль образовательной программы Маркетинг

Форма обучения очная

СОДЕРЖАНИЕ

1. Конспект лекций.....	3
1.1.Лекция №1 Общие сведения о компьютерных сетях.....	3
1.2.Лекция №2 Коммутация.....	7
1.3.Лекция №3 Линии связи.	14
1.4.Лекция №4 Сетевые модели	18
1.5.Лекция №5 Сетевое оборудование.....	24
1.6.Лекция №6 7, 8Протоколы маршрутизации.....	28
1.7.Лекция № 9 Протокол TCP/IP	32
1.8.Лекция №10, 11 Разновидности архитектуры сетей.	37
1.9.Лекция №12, 13 Способы модуляции.....	42
1.10.Лекция №14 Высокоскоростные магистрали.....	47
1.11.Лекция №15 Сетевые операционные системы.	56
1.12.Лекция №16, 17 Технология TokenRing.....	61
1.13.Лекция №18 Технология Frame Relay.	64
2. Методические указания по выполнению лабораторных работ.....	69
2.1 Лабораторная работа № ЛР-1 Способы коммутации.....	69
2.3 Лабораторная работа № ЛР-2, 3, 4 Характеристики линии связи.	78
2.4 Лабораторная работа №ЛР-5, 6, 7, 8, 9, 10 Сетевая модель OSI.....	83
2.5.Лабораторная работа № ЛР-11, 12, 13 Протоколы и алгоритмы маршрутизации.....	97
2.8 Лабораторная работа № ЛР-14, 15 Методы кодирования.	102
2.10 Лабораторная работа № ЛР-16 Модуляция.	107
2.11.Лабораторная работа № ЛР-17 Построение сети Ethernet.....	126

1. Конспект лекций

Лекция №1. Общие сведения о компьютерных сетях.

Вопросы:

1. Классификация сетей.
2. Топология сетей.

1. Классификация сетей.

Классификация сетей ЭВМ (компьютерных сетей), как любых больших и сложных систем, может быть выполнена на основе различных признаков, в качестве которых могут быть использованы (рис.1):

- размер (территориальный охват) сети;
- принадлежность;
- назначение;
- область применения.

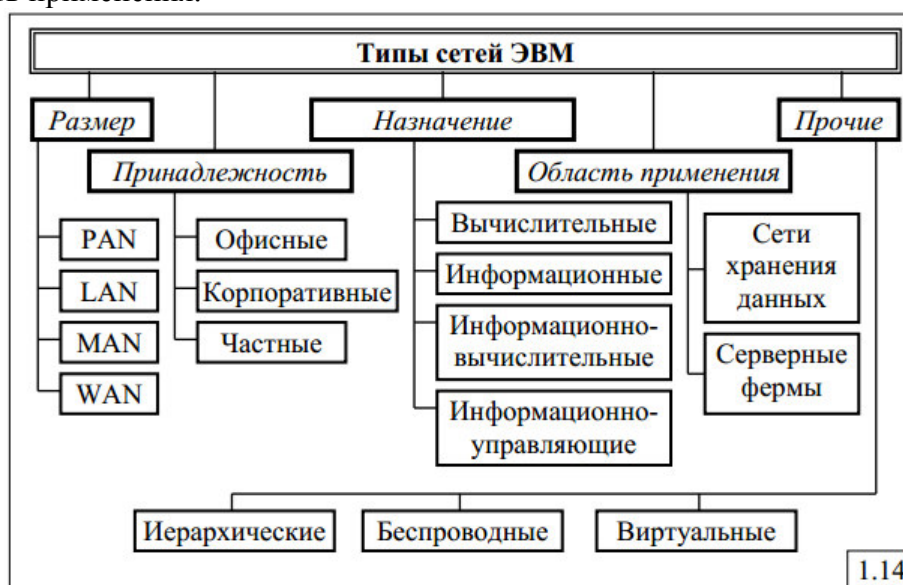


Рисунок 1. Типы сетей ЭВМ

1. По размеру (территориальному охвату) сети ЭВМ делятся на:

- персональные;
- локальные;
- городские (региональные).
- глобальные.

Персональная сеть (PersonalAreaNetwork, PAN) — это сеть, объединяющая персональные электронные устройства пользователя (телефоны, карманные персональные компьютеры, смартфоны, ноутбуки и т.п.) и характеризующаяся:

- небольшим числом абонентов;
- малым радиусом действия (до нескольких десятков метров);
- нечувствительностью к отказам.

К стандартам таких сетей в настоящее время относятся Bluetooth, Zigbee, Пиконет.

Локальная вычислительная сеть (ЛВС) (LocalAreaNetwork, LAN) — сеть со скоростью передачи данных, как правило, не менее 1 Мбит/с, обеспечивающая связь на небольших расстояниях — от нескольких десятков метров до нескольких километров. Оборудование, подключаемое к ЛВС, может находиться в одном или нескольких соседних зданиях.

Примеры ЛВС: Ethernet, Token Ring.

Городская вычислительная сеть (MetropolitanAreaNetwork, MAN) — сеть, промежуточная по размеру между ЛВС и глобальной сетью.

Протоколы и кабельная система для городской вычислительной сети описываются в стандартах комитета IEEE 802.6. MAN реализуется на основе протокола DQDB (DistributedQueueDualBus) – двойная шина сраспределенной очередью и использует волоконно-оптический кабель для передачи данных со скоростью 100 Мбит/с на территории до 100 км². MAN может применяться для объединения в одну сеть группы сетей, расположенных в разных зданиях. Последние разработки, связанные с высокоскоростным беспроводным доступом в соответствии со стандартом IEEE 802.16, привели к созданию MAN в виде широкополосных беспроводных ЛВС.

Глобальная сеть (WideAreaNetwork, WAN) – в отличие от ЛВС охватывает большую территорию и представляет собой объединение нескольких ЛВС, связанных с помощью специального сетевого оборудования (маршрутизаторов, коммутаторов и шлюзов), образующих в случае использования высокоскоростных каналов магистральную сеть передачи данных (магистральную сеть связи). Наиболее широкое применение находят глобальные сети для нужд информационного обмена в коммерческих, научных и других профессиональных целях.

Для построения глобальных сетей могут использоваться различные сетевые технологии, в том числе TCP/IP, X.25, FrameRelay, ATM, MPLS.

Настоящей глобальной сетью, пожалуй, можно считать только сеть Интернет. Вряд ли глобальной можно считать сеть, объединяющую 2-3 ЛВС, находящиеся в разных городах, расположенных на расстоянии нескольких десятков или даже сотен километров друг от друга. Однако, поскольку для построения такой «простой» сети используются обычно те же сетевые технологии и технические средства, что и в сети Интернет, то такие сети обычно тоже относят к классу глобальных сетей.

2. По принадлежности сети ЭВМ делятся на:

- офисные – сети, расположенные на территории офиса компании, ограниченной обычно пределами одного здания, и построенные на технологиях LAN;
- корпоративные (ведомственные) – сети, представляющие собой объединение нескольких офисных сетей компании, расположенных в разных территориально разнесенных зданиях, находящихся возможно в разных городах и регионах, и построенные на технологиях MAN или WAN;
- частные – сети, построенные обычно на технологии виртуальной частной сети (VirtualPrivateNetwork, VPN), позволяющей обеспечить одно или несколько сетевых соединений, которые могут быть трёх видов: узел-узел, узел-сеть и сеть-сеть, образующих логическую сеть поверхдругой сети (например, Интернет).

3. По назначению сети ЭВМ делятся на:

- вычислительные, предназначенные для решения задач пользователей, ориентированных, в основном, на вычисления;
- информационные, ориентированные на предоставление информационных услуг; примерами таких сетей могут служить сети, предоставляющие справочные и библиотечные услуги;

2. Топология сетей.

Термин **топология сети** означает способ соединения компьютеров в сеть. Вы также можете услышать другие названия – **структура сети** или **конфигурация сети** (это одно и то же). Кроме того, понятие топологии включает множество правил, которые определяют места размещения компьютеров, способы прокладки кабеля, способы размещения связующего оборудования и многое другое. На сегодняшний день сформировались и устоялись несколько основных топологий. Из них можно отметить “**шину**”, “**кольцо**” и “**звезду**”.

Топология “шина”

Топология **шина** (рис.2) (или, как ее еще часто называют **общая шина** или **магистраль**) предполагает использование одного кабеля, к которому подсоединены все рабочие станции.

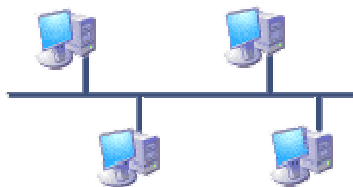


Рисунок 2. Топология шина.

Общий кабель используется всеми станциями по очереди. Все сообщения, посылаемые отдельными рабочими станциями, принимаются и прослушиваются всеми остальными компьютерами, подключенными к сети. Из этого потока каждая рабочая станция отбирает адресованные только ей сообщения.

Достоинства топологии “шина”:

- простота настройки;
- относительная простота монтажа и дешевизна, если все рабочие станции расположены рядом;
- выход из строя одной или нескольких рабочих станций никак не отражается на работе всей сети.

Недостатки топологии “шина”:

- неполадки шины в любом месте (обрыв кабеля, выход из строя сетевого коннектора) приводят к неработоспособности сети;
- сложность поиска неисправностей;
- низкая производительность – в каждый момент времени только один компьютер может передавать данные в сеть, с увеличением числа рабочих станций производительность сети падает;
- плохая масштабируемость – для добавления новых рабочих станций необходимо заменять участки существующей шины.

Именно по топологии “шина” строились локальные сети на коаксиальном кабеле. В этом случае в качестве шины выступали отрезки коаксиального кабеля, соединенные Т-коннекторами. Шина прокладывалась через все помещения и подходила к каждому компьютеру. Боковой вывод Т-коннектора вставлялся в разъем на сетевой карте. Сейчас такие сети безнадежно устарели и повсюду заменены “звездой” на витой паре, однако оборудование под коаксиальный кабель еще можно увидеть на некоторых предприятиях.

Топология “кольцо”

Кольцо – это топология локальной сети, в которой рабочие станции подключены последовательно друг к другу, образуя замкнутое кольцо. Данные передаются от одной рабочей станции к другой в одном направлении (по кругу) (рис.3). Каждый ПК работает как повторитель, ретранслируя сообщения к следующему ПК, т.е. данные передаются от одного компьютера к другому как бы по эстафете.

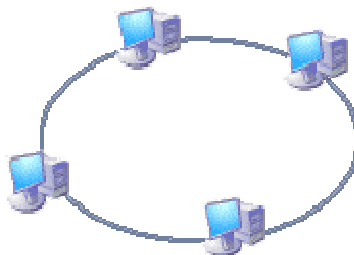


Рисунок 3. Топология кольцо.

Если компьютер получает данные, предназначенные для другого компьютера – он передает их дальше по кольцу, в ином случае они дальше не передаются.

Достоинства кольцевой топологии:

- простота установки;
- практически полное отсутствие дополнительного оборудования;
- возможность устойчивой работы без существенного падения скорости передачи данных при интенсивной загрузке сети.

Однако “кольцо” имеет и существенные недостатки:

- каждая рабочая станция должна активно участвовать в пересылке информации; в случае выхода из строя хотя бы одной из них или обрыва кабеля – работа всей сети останавливается;
- подключение новой рабочей станции требует краткосрочного выключения сети, поскольку во время установки нового ПК кольцо должно быть разомкнуто;
- сложность конфигурирования и настройки;
- сложность поиска неисправностей.

Кольцевая топология сети используется довольно редко. Основное применение она нашла в оптоволоконных сетях стандарта TokenRing.

Топология “звезда”

Звезда – это топология локальной сети, где каждая рабочая станция присоединена к центральному устройству (коммутатору или маршрутизатору) (рис.4). Центральное устройство управляет движением пакетов в сети. Каждый компьютер через сетевую карту подключается к коммутатору отдельным кабелем.

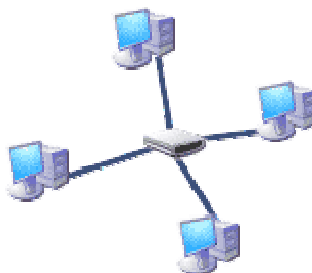


Рисунок 4. Топология звезда.

При необходимости можно объединить вместе несколько сетей с топологией “звезда” – в результате вы получите конфигурацию сети с **древовидной** топологией. Древовидная топология распространена в крупных компаниях. Мы не будем ее подробно рассматривать в данной статье.

Топология “звезда” на сегодняшний день стала основной при построении локальных сетей. Это произошло благодаря ее многочисленным достоинствам:

- выход из строя одной рабочей станции или повреждение ее кабеля не отражается на работе всей сети в целом;
- отличная масштабируемость: для подключения новой рабочей станции достаточно проложить от коммутатора отдельный кабель;
- легкий поиск и устранение неисправностей и обрывов в сети;
- высокая производительность;
- простота настройки и администрирования;
- в сеть легко встраивается дополнительное оборудование.

Однако, как и любая топология, “звезда” не лишена недостатков:

- выход из строя центрального коммутатора обернется неработоспособностью всей сети;
- дополнительные затраты на сетевое оборудование – устройство, к которому будут подключены все компьютеры сети (коммутатор);
- число рабочих станций ограничено количеством портов в центральном коммутаторе.

Звезда – самая распространенная топология для проводных и беспроводных сетей. Примером звездообразной топологии является сеть с кабелем типа витая пара, и коммутатором в качестве центрального устройства. Именно такие сети встречаются в большинстве организаций.

Лекция №2. Коммутация

Вопросы:

1. Способы коммутации.
2. Разделение каналов по времени.
3. Разделение каналов по частоте.

1. Способы коммутации.

Пакеты в сети могут передаваться двумя способами (рис.5):

- дейтаграммным;
- путем формирования «виртуального канала».



Рисунок 5. Способы реализации коммутации.

При **дейтаграммном** способе пакеты одного и того же сообщения могут передаваться между двумя взаимодействующими пользователями А и В по разным маршрутам, как это показано на рис.6, где пакет П1 передаётся по маршруту У1-У2-У6-У7, пакет П2 – по маршруту У1-У4-У7 и пакет П3 – по маршруту У1-У3-У5-У7. В результате такого способа передачи все пакеты приходят в конечный узел сети в разное время и в произвольной последовательности. Пакеты одного и того же сообщения, рассматриваемые в каждом узле сети как самостоятельные независимые единицы данных и передаваемые разными маршрутами, называются дейтаграммами (datagram). В узлах сети для каждой дейтаграммы всякий раз определяется наилучший путь передачи в соответствии с выбранной метрикой маршрутизации, не зависимо от того, по какому пути переданы были предыдущие дейтаграммы с такими же адресами назначения (получателя) и источника (отправителя).

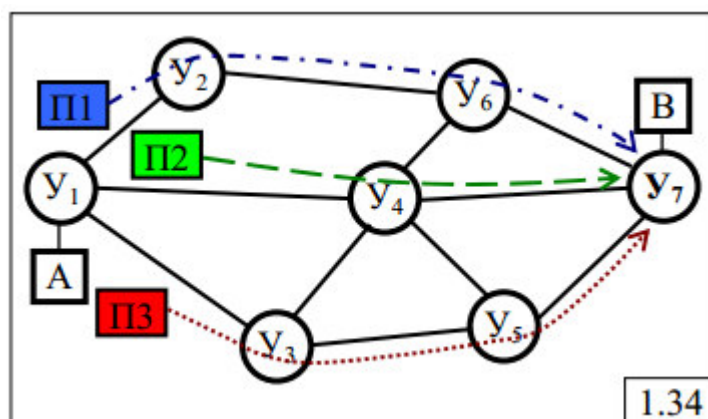


Рисунок 6. Дейтаграммный способ.

Дейтаграммный способ передачи пакетов может быть реализован:

- без установления соединения между абонентами сети;
- с установлением соединения между взаимодействующими абонентами сети.

В последнем случае между взаимодействующими абонентами предварительно устанавливается соединение путём обмена служебными пакетами: «запрос на соединение» и «подтверждение соединения», означающее готовность принять передаваемые данные. В процессе установления соединения могут «оговариваться» значения параметров передачи данных, которые должны выполняться в течение сеанса связи. После установления соединения отправитель начинает передачу, причём пакеты одного и того же сообщения могут передаваться разными маршрутами, то есть дейтаграммным способом. По завершении сеанса передачи данных выполняется процедура разрыва соединения путём обмена служебными пакетами: «запрос на разрыв соединения» и «подтверждение разрыва соединения». Описанная процедура передачи пакетов с установлением соединения иллюстрируется на диаграмме (рис.7).

Достоинствами дейтаграммного способа передачи пакетов в компьютерных сетях являются:

- простота организации и реализации передачи данных – каждый пакет (дейтаграмма) сообщения передаётся независимо от других пакетов;
- в узлах сети для каждого пакета выбирается наилучший путь (маршрут);
- передача данных может выполняться как без установления соединения между взаимодействующими абонентами, так и при необходимости с установлением соединения.

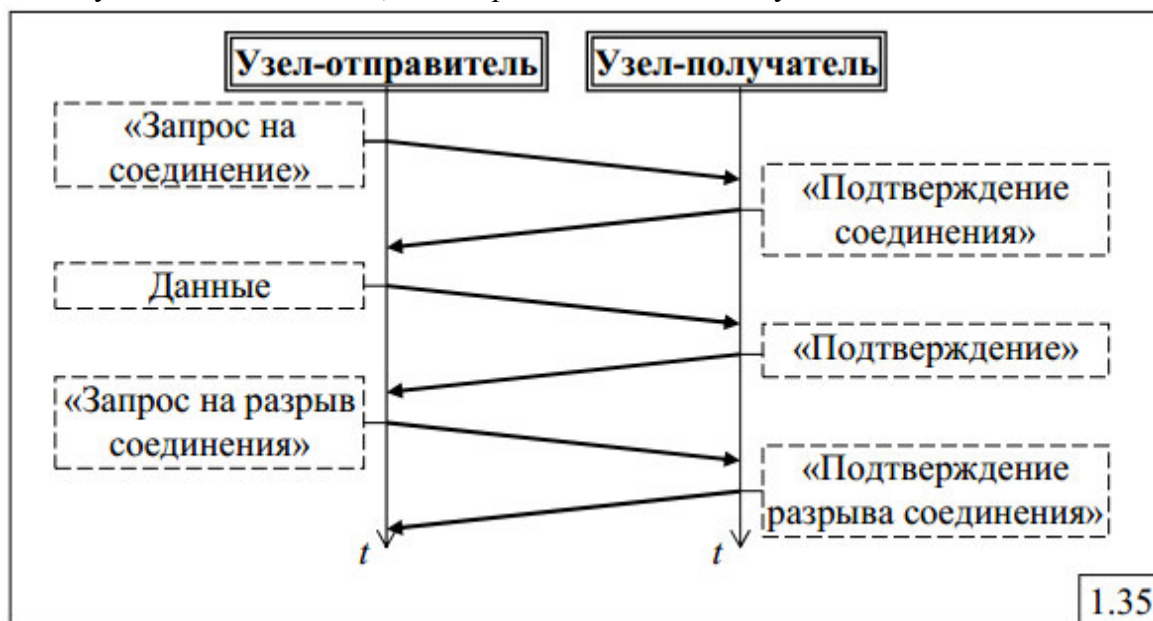


Рисунок 7. Процедура передачи пакетов

К недостаткам дейтаграммного способа передачи пакетов следует отнести:

- необходимость сборки сообщения в конечном узле: сообщение не может быть передано получателю, пока в конечном узле сети не соберутся все пакеты данного сообщения, поэтому в случае потери хотя бы одного пакета сообщение не сможет быть сформировано и передано получателю;
- при длительном ожидании пакетов одного и того же сообщения в конечном узле может скопиться достаточно большое количество пакетов сообщений, собранных не полностью, что требует значительных затрат на организацию в узле буферной памяти большой ёмкости;
- для предотвращения переполнения буферной памяти узла время нахождения (ожидания) пакетов одного и того же сообщения в конечном узле ограничивается, и по истечении этого времени все поступившие пакеты не полностью собранного сообщения уничтожаются, после чего выполняется запрос на повторную передачу данного сообщения; это приводит к увеличению нагрузки на сеть и, как следствие, к снижению её производительности, измеряемой количеством сообщений, передаваемых в сети за единицу времени.

Способ передачи пакетов «**виртуальный канал**» заключается в формировании единого «виртуального» канала на время взаимодействия абонентов для передачи всех пакетов сообщения. Этот способ реализуется с использованием предварительного установления соединения между взаимодействующими абонентами, в процессе которого формируется наиболее рациональный единый для всех пакетов маршрут, по которому, в отличие от дейтаграммного способа, все пакеты сообщения передаются в естественной последовательности, как это показано на рис.8.

Пакеты П1, П2 и П3 сообщения передаются в естественной последовательности от пользователя А к пользователю В по предварительно созданному виртуальному каналу через узлы У1-У4-У7.

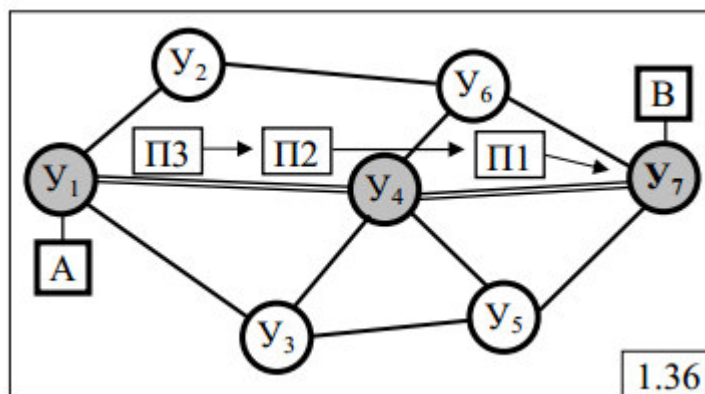


Рисунок 8. Передача пакетов сообщения.

Виртуальный канал, как и реальный физический канал в случае коммутации каналов, существует только в течение сеанса связи, при этом ресурсы реальных каналов связи (пропускная способность) и узлов сети (буферная память), находящихся на маршруте, резервируются на всё время сеанса.

Не следует путать и смешивать коммутацию каналов и способ передачи пакетов «виртуальный канал». Основное их отличие состоит в том, что «виртуальный канал» реализуется с промежуточным хранением пакетов в узлах сети, в то время как коммутация каналов реализуется без промежуточного хранения передаваемых пакетов за счёт создания реального (а не виртуального) физического канала между абонентами сети.

К достоинствам способа передачи пакетов «виртуальный канал» по сравнению с дейтаграммной передачей пакетов можно отнести:

- меньшие задержки в узлах сети, обусловленные резервированием ресурсов, и прежде всего пропускной способности каналов связи, в процессе установления соединения;
- небольшое время ожидания в конечном узле для сборки всего сообщения, поскольку пакеты передаются последовательно друг за другом по одному и тому же маршруту (виртуальному каналу), и вероятность того, что какой-либо пакет «заблудится» в результате неудачно выбранного маршрута или его время доставки окажется слишком большим, как это может произойти при дейтаграммном способе, близка к нулю;
- более эффективное использование буферной памяти промежуточных узлов за счёт её предварительного резервирования, а также буферной памяти в конечном узле в связи с небольшим временем ожидания прихода всех пакетов сообщения.

К недостаткам способа передачи пакетов «виртуальный канал» можно отнести:

- наличие накладных расходов (издержек) на установление соединения;
- неэффективное использование ресурсов сети, поскольку они резервируются на всё время взаимодействия абонентов (сеанса) и не могут быть предоставлены другому соединению, даже если они в данный момент не используются.

2. Разделение каналов по времени.

Коммутаторы, а также соединяющие их каналы должны обеспечивать одновременную передачу данных нескольких абонентских каналов. Для этого они должны быть высокоскоростными и поддерживать какую-либо технику мультиплексирования абонентских каналов. В настоящее время для мультиплексирования абонентских каналов используются две техники: техника частотного мультиплексирования (Frequency Division Multiplexing, FDM); техника мультиплексирования с разделением времени (Time Division Multiplexing, TDM).

Коммутация каналов на основе частотного мультиплексирования

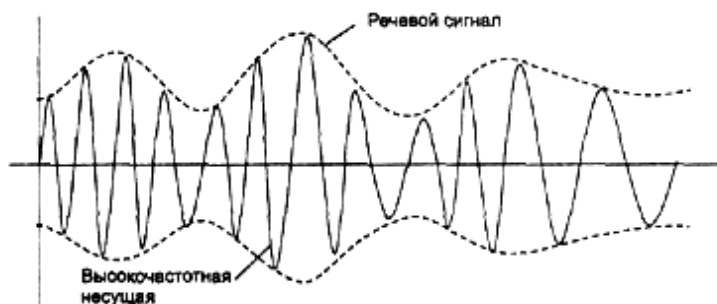


Рисунок 9. Модуляция речевых сигналов

Техника частотного мультиплексирования каналов (FDM) была разработана для телефонных сетей, но применяется она и для других видов сетей, например сетей кабельного телевидения.

Для разделения абонентских каналов характерна техника модуляции высокочастотного несущего синусоидального сигнала низкочастотным речевым сигналом (рис. 9). Если сигналы каждого абонентского канала перенести в свой собственный диапазон частот, то в одном широкополосном канале можно одновременно передавать сигналы нескольких абонентских каналов. На входы FDM- коммутатора поступают исходные сигналы от абонентов телефонной сети. Коммутатор выполняет перенос частоты каждого канала в свой диапазон частот. Обычно высокочастотный диапазон делится на полосы, которые отводятся для передачи данных абонентских каналов. Такой канал называют уплотненным.

Коммутаторы FDM могут выполнять как динамическую, так и постоянную коммутацию. При динамической коммутации один абонент инициирует соединение с другим абонентом, посылая в сеть номер вызываемого абонента. Коммутатор динамически выделяет данному абоненту одну из свободных полос своего уплотненного канала. При постоянной коммутации за абонентом полоса закрепляется на длительный срок путем настройки коммутатора по отдельному входу, недоступному пользователям. Коммутация каналов на основе разделения времени разрабатывалась в расчете на передачу непрерывных сигналов, представляющих голос. При переходе к цифровой форме представления голоса была разработана новая техника мультиплексирования, ориентирующаяся на дискретный характер передаваемых данных. Эта техника носит название мультиплексирования с разделением времени (Time Division Multiplexing, TDM). Реже используется и другое ее название — техника синхронного режима передачи (Synchronous Transfer Mode, STM). Аппаратура TDM-сетей — мультиплексоры, коммутаторы, демультиплексоры — работает в режиме разделения времени, поочередно обслуживая в течение цикла своей работы все абонентские каналы. Цикл работы оборудования TDM равен 125 мкс, что соответствует периоду следования замеров голоса в цифровом абонентском канале. Это значит, что мультиплексор или коммутатор успевает вовремя обслужить любой абонентский канал и передать его очередной замер далее по сети. Каждому соединению выделяется один квант времени цикла работы аппаратуры, называемый также тайм-слотом. Длительность тайм-слота зависит от числа абонентских каналов, обслуживаемых мультиплексором TDM или коммутатором. Мультиплексор принимает информацию по N входным каналам от конечных абонентов, каждый из которых передает данные по абонентскому каналу со скоростью 64 Кбит/с — 1 байт каждые 125 мкс. В каждом цикле мультиплексор выполняет следующие действия: прием от каждого канала очередного байта данных; составление из принятых байтов уплотненного кадра, называемого также обоймой; передача уплотненного кадра на выходной канал с битовой скоростью, равной $N \times 64$ Кбит/с. Порядок байт в обойме соответствует номеру входного канала, от которого этот байт получен. Количество обслуживаемых мультиплексором абонентских каналов зависит от его быстродействия. Демультиплексор выполняет обратную задачу — он разбирает байты уплотненного кадра и распределяет их по своим нескольким выходным каналам, при этом он считает, что порядковый номер байта в обойме соответствует номеру выходного канала.

Коммутатор принимает уплотненный кадр по скоростному каналу от мультиплексора и записывает каждый байт из него в отдельную ячейку своей буферной памяти, причем в том порядке, в котором эти байты были упакованы в уплотненный кадр. Для выполнения операции коммутации байты извлекаются из буферной памяти не в порядке поступления, а в таком порядке, который соответствует поддерживаемым в сети соединениям абонентов.

Развитием идей статистического мультиплексирования стала технология асинхронного режима передачи — АТМ, которая вобрала в себя лучшие черты техники коммутации каналов и пакетов.

3.Разделение каналов по частоте

Частотное разделение каналов (ЧРК) — разделение каналов по частоте, при котором каждому каналу выделяется определённый диапазон частот. В многоканальных системах связи (МКС) с ЧРК каналные сигналы отличаются друг от друга положением своих спектров на оси частот. Обычно системы с ЧРК используются для передачи аналоговых сигналов. На рис. 10 представлена структурная схема простейшей МКС с ЧРК.

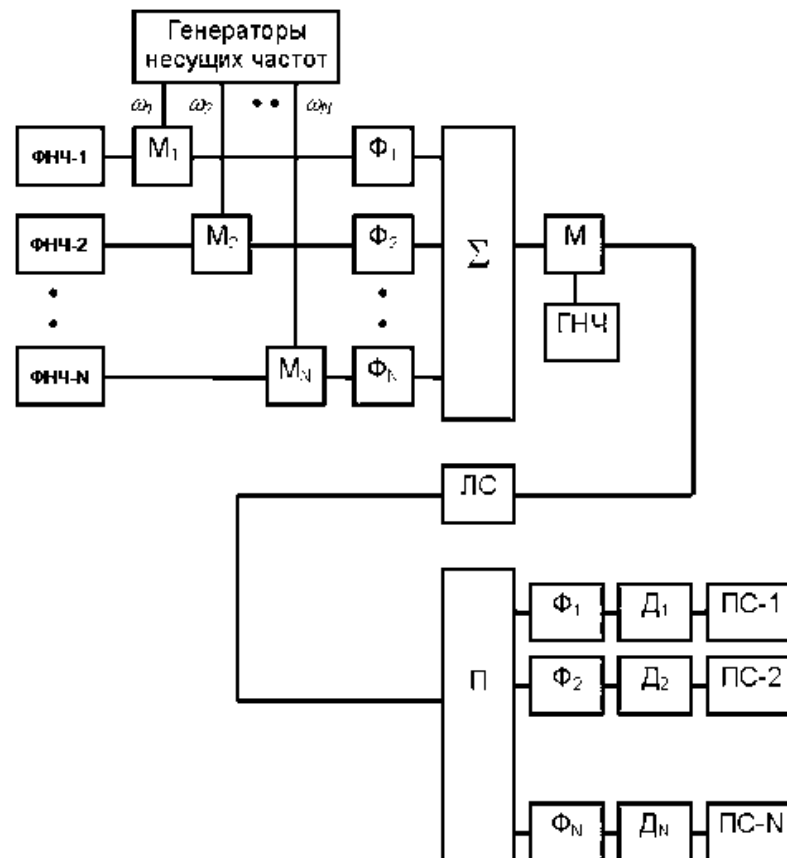


Рисунок 10. Структурная схема многоканальной системы с ЧРК

Наиболее часто в отдельных каналах при ЧРК применяется однополосная модуляция с соответственно подобранными частотами пилот-сигналов, которые выдаются генератором несущих частот (ГНЧ). Данный способ модуляции обеспечивает минимальную полосу частот группового сигнала. Подавление несущих достигается в индивидуальных модуляторах ($M_1, M_2, \dots, M_N$), которые, как правило, строятся по балансной схеме, а выделение одной боковой полосы (ОБП) осуществляется в полосовых фильтрах ($\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_N$). Совокупность канальных сигналов на выходе суммирующего устройства Σ образует групповой сигнал. В групповом передатчике M групповой сигнал преобразуется в линейный сигнал, который и поступает в линию связи ЛС.

На приемной стороне линии связи линейный сигнал с помощью группового приемника Π вновь преобразуется в групповой сигнал, из которого полосовыми фильтрами ($\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_N$) выделяются канальные сигналы. После детектирования в канальных демодуляторах ($D_1, D_2, \dots, D_N$) сигналы преобразуются в предназначенные получателям сообщения приемниками сообщений (ПС₁, ПС₂, ..., ПС_N). Опорные колебания в канальных демодуляторах создаются с помощью генератора (ГНЧ). Сообщения, передаваемые по различным каналам, выделяются при помощи ФНЧ.

Канальные передатчики вместе с суммирующим устройством образуют аппаратуру объединения. Групповой передатчик M , линия связи ЛС и групповой приемник Π составляют групповой канал связи (тракт передачи), который вместе с аппаратурой объединения и индивидуальными приемниками составляет систему многоканальной связи. В составе технических устройств на передающей стороне многоканальной системы должна быть предусмотрена аппаратура объединения, а на приемной стороне - аппаратура разделения.

В общем случае групповой сигнал может формироваться не только простейшим суммированием канальных сигналов, но также и определенной логической обработкой, в результате которой каждый элемент группового сигнала несет информацию о сообщениях источников. Это так называемые системы с комбинационным разделением.

Чтобы разделяющие устройства были в состоянии различать сигналы отдельных каналов, должны существовать определенные признаки, присущие только данному сигналу. Такими признаками в общем случае могут быть параметры переносчика, например амплитуда, частота или фаза в случае непрерывной модуляции гармонического переносчика. При дискретных видах модуляции различающим признаком может служить и форма сигналов. Соответственно различаются и способы разделения сигналов: частотный, временной, фазовый и др.

Поскольку всякая реальная линия связи обладает ограниченной полосой пропускания, то при многоканальной передаче каждому отдельному каналу отводится определенная часть общей полосы пропускания.

На приемной стороне одновременно действуют сигналы всех каналов, различающиеся положением их частотных спектров на шкале частот. Чтобы без взаимных помех разделить такие сигналы, приемные устройства должны содержать частотные фильтры. Каждый из фильтров должен пропустить без ослабления лишь те частоты, которые принадлежат сигналу данного канала; частоты сигналов всех других каналов фильтр должен подавить.

Для снижения переходных помех до допустимого уровня приходится вводить защитные частотные интервалы (Рис. 11)

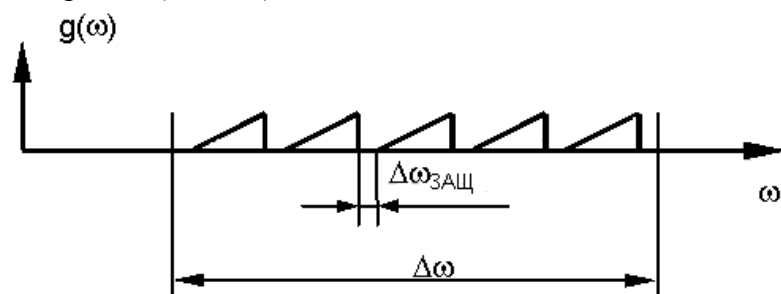


Рисунок 11. Спектр группового сигнала с защитными интервалами

При однократном преобразовании спектра сигнала ($f_n = 104 \text{ кГц}$) необходим специальный фильтр. При двукратном преобразовании спектра в первом модуляторе выбирается несущая до 30 кГц, например, $f_1 = 12 \text{ кГц}$. При этом фильтр легко реализуется на LC -элементах. На второй модулятор сигнал подается уже в полосе частот $12,3...15,4 \text{ кГц}$, и для переноса этого сигнала в заданную полосу частот необходимо использовать несущую $f_2 = 104 - f_1 = 92 \text{ кГц}$. Фильтр второго преобразователя частоты также легко реализуется на LC -элементах.

Методы построения многоканальной аппаратуры с ЧРК отличаются способом формирования группового сигнала и особенностями передачи его в линейном тракте. По способу формирования группового сигнала (первый признак) различают:

1. метод с индивидуальным преобразованием сигналов;
 2. метод с групповым преобразованием сигналов.
- По способу усиления группового (линейного) сигнала (второй признак) выделяют:
1. метод с усилением каждого индивидуального сигнала;
 2. метод с усилением линейного сигнала в целом.

При индивидуальном преобразовании сигналов формирование группового (линейного) спектра частот производится путем отдельного независимого преобразования каждого из N сигналов. Другими словами, при индивидуальном методе преобразователя, фильтры, усилители и другие элементы для каждого канала являются отдельными и повторяются в составе оконечной промежуточной аппаратуры столько раз, на сколько каналов рассчитана система передачи. Индивидуальные методы преобразования в оконечных и усиления в промежуточных станциях поясняются на рис. 12.

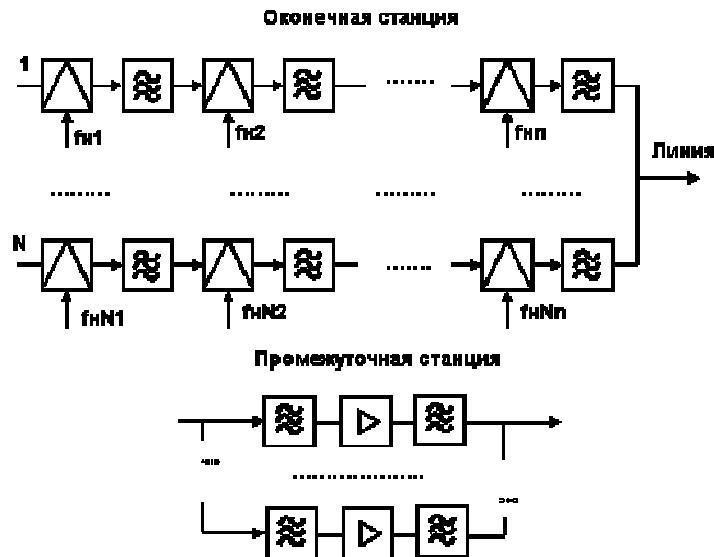


Рисунок 12. Индивидуальный метод преобразования

В основу метода группового преобразования сигналов положен принцип формирования линейного спектра в конечном пункте МКС с помощью нескольких ступеней преобразования. На каждой ступени объединяются несколько канальных сигналов, т.е. линейный сигнал представляет собой сумму нескольких промежуточных групповых сигналов. При этом, в отличие от индивидуального метода, отдельной для каждого канала является только часть аппаратуры, а остальное оборудование – общее для всех каналов.

Лекция №3. Линии связи.

Вопросы:

1. Спектральный анализ сигналов на линии связи.
2. Характеристики линии связи.

1. Спектральный анализ сигналов на линии связи.

Из теории гармонического анализа известно, что любой периодический процесс можно представить в виде суммы синусоидальных колебаний различных частот и различных амплитуд (рис. 13). Каждая составляющая синусоида называется также гармоникой, а набор всех гармоник называют спектральным разложением исходного сигнала. Непериодические сигналы можно представить в виде интеграла синусоидальных сигналов с непрерывным спектром частот. Например, спектральное разложение идеального импульса (единичной мощности и нулевой длительности) имеет составляющие всего спектра частот, от $-\infty$ до $+\infty$ (рис. 14).

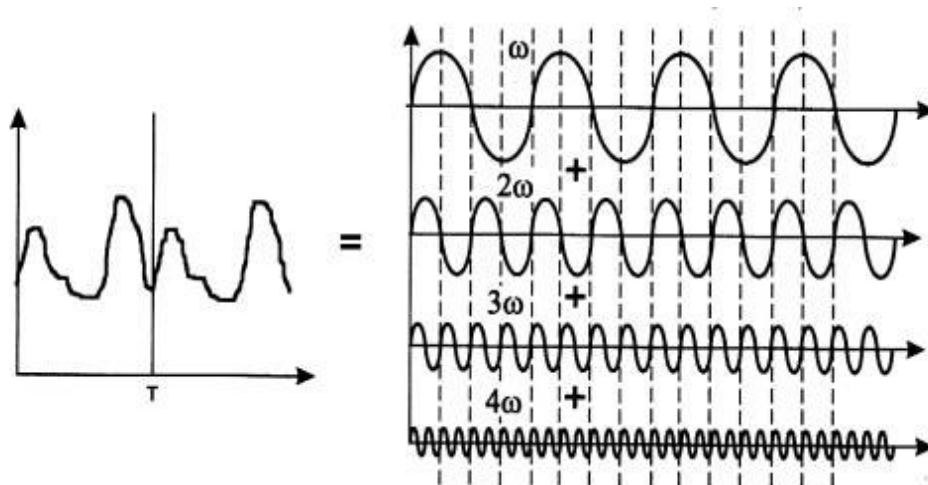


Рисунок 13. Представление периодического сигнала суммой синусоид

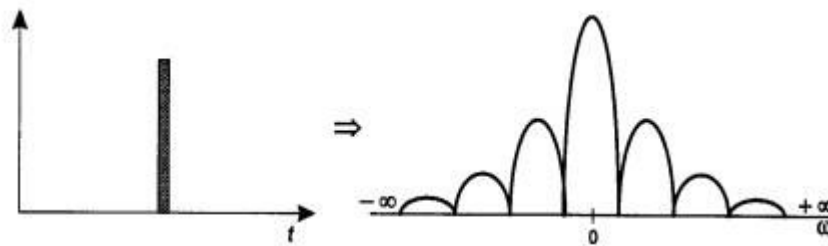


Рисунок 14. Спектральное разложение идеального импульса

Техника нахождения спектра любого исходного сигнала хорошо известна. Для некоторых сигналов, которые хорошо описываются аналитически (например, для последовательности прямоугольных импульсов одинаковой длительности и амплитуды), спектр легко вычисляется на основании формул Фурье. Для сигналов произвольной формы, встречающихся на практике, спектр можно найти с помощью специальных приборов - спектральных анализаторов, которые измеряют спектр реального сигнала и отображают амплитуды составляющих гармоник на экране или распечатывают их на принтере. Искажение передающим каналом синусоиды какой-либо частоты приводит в конечном счете к искажению передаваемого сигнала любой формы, особенно если синусоиды различных частот искажаются неодинаково. Если это аналоговый сигнал, передающий речь, то изменяется тембр голоса за счет искажения обертонов - боковых частот. При передаче импульсных сигналов, характерных для компьютерных сетей, искажаются низкочастотные и высокочастотные гармоники, в результате фронты импульсов теряют свою прямоугольную форму. Вследствие этого на приемном конце линии сигналы могут плохо распознаваться.

Линия связи искажает передаваемые сигналы из-за того, что ее физические параметры отличаются от идеальных. Так, например, медные провода всегда представляют собой некоторую распределенную по длине комбинацию активного сопротивления, емкостной и индуктивной нагрузки. В результате для синусоид различных частот линия будет обладать различным полным сопротивлением, а значит, и передаваться они будут по-разному. Волоконно-оптический кабель также имеет отклонения, мешающие идеальному распространению света. Если линия связи включает промежуточную аппаратуру, то она также может вносить дополнительные искажения, так как невозможно создать устройства, которые бы одинаково хорошо передавали весь спектр синусоид, от нуля до бесконечности.

Кроме искажений сигналов, вносимых внутренними физическими параметрами линии связи, существуют и внешние помехи, которые вносят свой вклад в искажение формы сигналов на выходе линии. Эти помехи создают различные электрические двигатели, электронные устройства, атмосферные явления и т. д. Несмотря на защитные меры, предпринимаемые разработчиками кабелей и усилительно-коммутирующей аппаратуры, полностью компенсировать влияние внешних помех не удастся. Поэтому сигналы на выходе линии связи обычно имеют сложную, по которой иногда трудно понять, какая дискретная информация была подана на вход линии.

2. Характеристики линии связи.

К основным характеристикам линий связи относятся:

- амплитудно-частотная характеристика;
- полоса пропускания;
- затухание;
- помехоустойчивость;
- перекрестные наводки на ближнем конце линии;
- пропускная способность;
- достоверность передачи данных;
- удельная стоимость.

В первую очередь разработчика вычислительной сети интересуют пропускная способность и достоверность передачи данных, поскольку эти характеристики прямо влияют на производительность и надежность создаваемой сети. Пропускная способность и достоверность - это характеристики как линии связи, так и способа передачи данных. Поэтому если способ передачи (протокол) уже определен, то известны и эти характеристики. Например, пропускная способность цифровой линии всегда известна, так как на ней определен протокол физического уровня, который задает битовую скорость передачи данных - 64 Кбит/с, 2 Мбит/с и т. п.

Однако нельзя говорить о пропускной способности линии связи, до того как для нее определен протокол физического уровня. Именно в таких случаях, когда только предстоит определить, какой из множества существующих протоколов можно использовать на данной линии, очень важными являются остальные характеристики линии, такие как полоса пропускания, перекрестные наводки, помехоустойчивость и другие характеристики.

Для определения характеристик линии связи часто используют анализ ее реакций на некоторые эталонные воздействия. Такой подход позволяет достаточно просто и однотипно определять характеристики линий связи любой природы, не прибегая к сложным теоретическим исследованиям. Чаще всего в качестве эталонных сигналов для исследования реакций линий связи используются синусоидальные сигналы различных частот. Это связано с тем, что сигналы этого типа часто встречаются в технике и с их помощью можно представить любую функцию времени - как непрерывный процесс колебаний звука, так и прямоугольные импульсы, генерируемые компьютером.

Амплитудно-частотная характеристика (рис. 15) показывает, как затухает амплитуда синусоиды на выходе линии связи по сравнению с амплитудой на ее входе для всех возможных частот передаваемого сигнала. Вместо амплитуды в этой характеристике часто используют также такой параметр сигнала, как его мощность.



Рисунок 15. Амплитудно-частотная характеристика

Знание амплитудно-частотной характеристики реальной линии позволяет определить форму выходного сигнала практически для любого входного сигнала. Для этого необходимо найти спектр входного сигнала, преобразовать амплитуду составляющих его гармоник в соответствии с амплитудно-частотной характеристикой, а затем найти форму выходного сигнала, сложив преобразованные гармоники.

Полоса пропускания (bandwidth) – это непрерывный диапазон частот, для которого отношение амплитуды выходного сигнала к входному превышает некоторый заранее заданный предел, обычно 0,5. То есть полоса пропускания определяет диапазон частот синусоидального сигнала, при которых этот сигнал передается по линии связи без значительных искажений. Знание полосы пропускания позволяет получить с некоторой степенью приближения тот же результат, что и знание амплитудно-частотной характеристики. Ширина полосы пропускания в наибольшей степени влияет на максимально

возможную скорость передачи информации по линии связи. Именно этот факт нашел отражение в английском эквиваленте рассматриваемого термина (width - ширина).

Затухание (attenuation) определяется как относительное уменьшение амплитуды или мощности сигнала при передаче по линии сигнала определенной частоты. Таким образом, затухание представляет собой одну точку из амплитудно-частотной характеристики линии. Часто при эксплуатации линии заранее известна основная частота передаваемого сигнала, то есть та частота, гармоника которой имеет наибольшую амплитуду и мощность. Поэтому достаточно знать затухание на этой частоте, чтобы приблизительно оценить искажения передаваемых по линии сигналов. Более точные оценки возможны при знании затухания на нескольких частотах, соответствующих нескольким основным гармоникам передаваемого сигнала.

Затухание A обычно измеряется в децибелах (дБ, decibel – dB) и вычисляется по следующей формуле:

$$A = 10 \log_{10} P_{\text{вых}} / P_{\text{вх}},$$

где $P_{\text{вых}}$ – мощность сигнала на выходе линии,

$P_{\text{вх}}$ – мощность сигнала на входе линии.

Так как мощность выходного сигнала кабеля без промежуточных усилителей всегда меньше, чем мощность входного сигнала, затухание кабеля всегда является отрицательной величиной.

Абсолютный уровень мощности, например, уровень мощности передатчика, также измеряется в децибелах. При этом в качестве базового значения мощности сигнала, относительно которого измеряется текущая мощность, принимается значение в 1 мВт (милливатт). Таким образом, уровень мощности p вычисляется по следующей формуле:

$$p = 10 \log_{10} P / 1 \text{ мВт} [\text{дБм}],$$

где P - мощность сигнала в милливаттах

дБм (dBm) – это единица измерения уровня мощности (децибел на 1 мВт).

Пропускная способность (throughput) линии характеризует максимально возможную скорость передачи данных по линии связи. Пропускная способность измеряется в битах в секунду – бит/с, а также в производных единицах, таких как килобит в секунду (Кбит/с), мегабит в секунду (Мбит/с), гигабит в секунду (Гбит/с) и т. д.

Пропускная способность линий связи и коммуникационного сетевого оборудования традиционно измеряется в битах в секунду, а не в байтах в секунду.

Пропускная способность линии связи зависит не только от ее характеристик, таких как амплитудно-частотная характеристика, но и от спектра передаваемых сигналов. Если значимые гармоники сигнала (то есть те гармоники, амплитуды которых вносят основной вклад в результирующий сигнал) попадают в полосу пропускания линии, то такой сигнал будет хорошо передаваться данной линией связи и приемник сможет правильно распознать информацию, отправленную по линии передатчиком. Если же значимые гармоники выходят за границы полосы пропускания линии связи, то сигнал будет значительно искажаться, приемник будет ошибаться при распознавании информации, а значит, информация не сможет передаваться с заданной пропускной способностью.

Помехоустойчивость линии определяет ее способность уменьшать уровень помех, создаваемых во внешней среде, на внутренних проводниках. Помехоустойчивость линии зависит от типа используемой физической среды, а также от экранирующих и подавляющих помехи средств самой линии. Наименее помехоустойчивыми являются радиолнии, хорошей устойчивостью обладают кабельные линии и отличной – волоконно-оптические линии, малочувствительные ко внешнему электромагнитному излучению. Обычно для уменьшения помех, появляющихся из-за внешних электромагнитных полей, проводники экранируют и/или скручивают.

Перекрестные наводки на ближнем конце (Near End Cross Talk - NEXT) определяют помехоустойчивость кабеля к внутренним источникам помех, когда электромагнитное поле сигнала, передаваемого выходом передатчика по одной паре проводников, наводит на другую пару проводников сигнал помехи. Если ко второй паре будет подключен приемник,

то он может принять наведенную внутреннюю помеху за полезный сигнал. Показатель NEXT, выраженный в децибелах, равен

$$10 \log_2 P_{\text{вых}}/P_{\text{нав}},$$

где $P_{\text{вых}}$ – мощность выходного сигнала,

$P_{\text{нав}}$ – мощность наведенного сигнала.

Чем меньше значение NEXT, тем лучше кабель. Так, для витой пары категории 5 показатель NEXT должен быть меньше –27 дБ на частоте 100 МГц.

Показатель NEXT обычно используется применительно к кабелю, состоящему из нескольких витых пар, так как в этом случае взаимные наводки одной пары на другую могут достигать значительных величин. Для одинарного коаксиального кабеля (то есть состоящего из одной экранированной жилы) этот показатель не имеет смысла, а для двойного коаксиального кабеля он также не применяется вследствие высокой степени защищенности каждой жилы. Оптические волокна также не создают сколь-нибудь заметных помех друг для друга.

В связи с тем, что в некоторых новых технологиях используется передача данных одновременно по нескольким витым парам, в последнее время стал применяться показатель PowerSUM, являющийся модификацией показателя NEXT. Этот показатель отражает суммарную мощность перекрестных наводок от всех передающих пар в кабеле.

Достоверность передачи данных характеризует вероятность искажения для каждого передаваемого бита данных. Иногда этот же показатель называют интенсивностью битовых ошибок (Bit Error Rate, BER). Величина BER для каналов связи без дополнительных средств защиты от ошибок (например, самокорректирующихся кодов или протоколов с повторной передачей искаженных кадров) составляет, как правило, 10^{-4} – 10^{-6} , в оптоволоконных линиях связи – 10^{-9} . Значение достоверности передачи данных, например, в 10^{-4} говорит о том, что в среднем из 10000 бит искажается значение одного бита.

Искажения бит происходят как из-за наличия помех на линии, так и по причине искажений формы сигнала ограниченной полосой пропускания линии. Поэтому для повышения достоверности передаваемых данных нужно повышать степень помехозащищенности линии, снижать уровень перекрестных наводок в кабеле, а также использовать более широкополосные линии связи.

Лекция №4. Сетевые модели

Вопросы:

1. Сетевая модель OSI.
2. Структура стандартов IEEE 802.X.

1. Сетевая модель OSI.

Международная Организация по Стандартам (МОС, International Standards Organization – ISO) предложила в качестве стандарта открытых систем семиуровневую коммуникационную модель (рис.1.19), известную как OSI-модель (Open Systems Interconnection) – модель Взаимодействия Открытых Систем (ВОС).

Каждый уровень OSI-модели отвечает за отдельные специфические функции в коммуникациях и реализуется техническими и программными средствами вычислительной сети.

Физический уровень

Уровень 1 – физический (physical layer) – самый низкий уровень OSI-модели, определяющий процесс прохождения сигналов через среду передачи между сетевыми устройствами (узлами сети).

Реализует управление каналом связи:

- подключение и отключение канала связи;
- формирование передаваемых сигналов и т.п.

Описывает:

- механические, электрические и функциональные характеристики среды передачи;
- средства для установления, поддержания и разъединения физического соединения.

Обеспечивает при необходимости:

- кодирование данных;
- модуляцию сигнала, передаваемого по среде.

Данные физического уровня представляют собой поток битов (последовательность нулей или единиц), закодированные в виде электрических, оптических или радио сигналов.

Из-за наличия помех, воздействующих на электрическую линию связи, достоверность передачи, измеряемая как вероятность искажения одного бита, составляет 10^{-4} – 10^{-6} . Это означает, что в среднем на 10000 – 1000000 бит передаваемых данных один бит оказывается искажённым.

Канальный уровень

Канальный уровень или уровень передачи данных (data link layer) является вторым уровнем OSI-модели.

Реализует управление:

- доступом сетевых устройств к среде передачи, когда два или более устройств могут использовать одну и ту же среду передачи;
- надежной передачей данных в канале связи, позволяющей увеличить достоверность передачи данных на 2-4 порядка.

Описывает методы доступа сетевых устройств к среде передачи, основанные, например, на передаче маркера или на соперничестве.

Обеспечивает:

- функциональные и процедурные средства для установления, поддержания и разрыва соединения;
- управление потоком для предотвращения переполнения приемного устройства, если его скорость меньше, чем скорость передающего устройства;
- надежную передачу данных через физический канал с вероятностью искажения данных 10^{-8} – 10^{-9} за счёт применения методов и средства контроля передаваемых данных и повторной передачи данных при обнаружении ошибки.

Таким образом, канальный уровень обеспечивает достаточно надежную передачу данных через ненадежный физический канал.

Блок данных, передаваемый на канальном уровне, называется кадром (frame).

На канальном уровне появляется свойство адресуемости передаваемых данных в виде физических (машинных) адресов, называемых также MAC-адресами и являющихся обычно уникальными идентификаторами сетевых устройств.

Как будет показано в разделе 3, универсальные MAC-адреса в ЛВС Ethernet и Token Ring являются 6-байтными и записываются в шестнадцатеричном виде, причём байты адреса разделены дефисом, например: 00-19-45-A2-B4-DE .

К процедурам канального уровня относятся:

- добавление в кадры соответствующих адресов;
- контроль ошибок;
- повторная, при необходимости, передача кадров.

На канальном уровне работают ЛВС Ethernet, Token Ring и FDDI.

Сетевой уровень

Сетевой уровень (network layer), в отличие от двух предыдущих, отвечает за передачу данных в СПД и управляет маршрутизацией сообщений – передачей через несколько каналов связи по одной или нескольким сетям, что обычно требует включения в пакет сетевого адреса получателя.

Блок данных, передаваемый на сетевом уровне, называется пакетом (packet).

Сетевой адрес – это специфический идентификатор для каждой промежуточной сети между источником и приемником информации.

Сетевой уровень реализует:

- обработку ошибок,
- мультиплексирование пакетов;
- управление потоками данных.

Самые известные протоколы этого уровня:

- X.25 в сетях с коммутацией пакетов;
- IP в сетях TCP/IP;
- IPX/SPX в сетях NetWare.

Кроме того, к сетевому уровню относятся протоколы построения маршрутных таблиц для маршрутизаторов: OSPF, RIP, EIGRP, IS-IS.

Транспортный уровень

Транспортный уровень (transport layer) наиболее интересен из высших уровней для администраторов и разработчиков сетей, так как он управляет сквозной передачей сообщений между оконечными узлами сети ("end-end"), обеспечивая надежность и экономическую эффективность передачи данных независимо от пользователя. При этом оконечные узлы возможно взаимодействуют через несколько узлов или даже через несколько транзитных сетей.

На транспортном уровне реализуется:

- 1) преобразование длинных сообщений в пакеты при их передаче в сети и обратное преобразование;
- 2) контроль последовательности прохождения пакетов;
- 3) регулирование трафика в сети;
- 4) распознавание дублированных пакетов и их уничтожение.

Способ коммуникации "end-end" облегчается еще одним способом адресации – адресом процесса, который соотносится с определенной прикладной программой (прикладным процессом), выполняемой на компьютере. Компьютер обычно выполняет одновременно несколько программ, в связи с чем необходимо знать какой прикладной программе (процессу) предназначено поступившее сообщение. Для этого на транспортном уровне используется специальный адрес, называемый адресом порта. Сетевой уровень доставляет каждый пакет на конкретный адрес компьютера, а транспортный уровень передаёт полностью собранное сообщение конкретному прикладному процессу на этом компьютере.

Транспортный уровень может предоставлять различные типы сервисов, в частности, передачу данных без установления соединения или с предварительным установлением соединения. В последнем случае перед началом передачи данных с использованием специальных управляющих пакетов устанавливается соединение с транспортным уровнем компьютера, которому предназначены передаваемые данные. После того как все данные переданы, подключение заканчивается. При передаче данных без установления соединения транспортный уровень используется для передачи одиночных пакетов, называемых дейтаграммами, не гарантируя их надежную доставку. Передача данных с установлением соединения применяется для надежной доставки данных.

Сеансовый уровень

Сеансовый уровень (session layer) обеспечивает обслуживание двух "связанных" на уровне представления данных объектов сети и управляет ведением диалога между ними путем синхронизации, заключающейся в установке служебных меток внутри длинных сообщений. Эти метки позволяют после обнаружения ошибки повторить передачу данных не с самого начала, а только с того места, где находится ближайшая предыдущая метка по отношению к месту возникновения ошибки.

Сеансовый уровень предоставляет услуги по организации и синхронизации обмена данными между процессами уровня представлений.

На сеансовом уровне реализуется:

- 1) установление соединения с адресатом и управление сеансом;
- 2) координация связи прикладных программ на двух рабочих станциях.

Уровень представления

Уровень представления (presentation layer) обеспечивает совокупность служебных операций, которые можно выбрать на прикладном уровне для интерпретации передаваемых и получаемых данных. Эти служебные операции включают в себя:

- управление информационным обменом;
- преобразование (перекодировка) данных во внутренний формат каждой конкретной ЭВМ и обратно;
- шифрование и дешифрование данных с целью защиты от несанкционированного доступа;
- сжатие данных, позволяющее уменьшить объем передаваемых данных, что особенно актуально при передаче мультимедийных данных, таких как аудио и видео.

Служебные операции этого уровня представляют собой основу всей семиуровневой модели и позволяют связывать воедино терминалы и средства вычислительной техники (компьютеры) самых разных типов и производителей.

Прикладной уровень

Прикладной уровень (application layer) обеспечивает непосредственную поддержку прикладных процессов и программ конечного пользователя, а также управление взаимодействием этих программ с различными объектами сети. Другими словами, прикладной уровень обеспечивает интерфейс между прикладным ПО и системой связи. Он предоставляет прикладной программе доступ к различным сетевым службам, включая передачу файлов и электронную почту.

2. Структура стандартов IEEE 802.X.

В 1980 году в институте IEEE был организован комитет 802 по стандартизации локальных сетей, в результате работы которого было принято семейство стандартов IEEE 802-х, которые содержат рекомендации по проектированию нижних уровней локальных сетей. Позже результаты работы этого комитета легли в основу комплекса международных стандартов ISO 8802-1...5. Эти стандарты были созданы на основе очень распространенных фирменных стандартов сетей Ethernet, ArcNet и Token Ring.

Помимо IEEE в работе по стандартизации протоколов локальных сетей принимали участие и другие организации. Так, для сетей, работающих на оптоволокне, американским институтом по стандартизации ANSI был разработан стандарт FDDI, обеспечивающий скорость передачи данных 100 Мб/с. Работы по стандартизации протоколов ведутся также ассоциацией ECMA, которой приняты стандарты ECMA-80, 81, 82 для локальной сети типа Ethernet и впоследствии стандарты ECMA-89,90 по методу передачи маркера.

Стандарты семейства IEEE 802.X охватывают только два нижних уровня семиуровневой модели OSI - физический и канальный. Это связано с тем, что именно эти уровни в наибольшей степени отражают специфику локальных сетей. Старшие же уровни, начиная с сетевого, в значительной степени имеют общие черты как для локальных, так и для глобальных сетей.

Специфика локальных сетей также нашла свое отражение в разделении канального уровня на два подуровня, которые часто называют также уровнями. Канальный уровень (Data Link Layer) делится в локальных сетях на два подуровня:

- логической передачи данных (Logical Link Control, LLC);
- управления доступом к среде (Media Access Control, MAC).

Уровень MAC появился из-за существования в локальных сетях разделяемой среды передачи данных. Именно этот уровень обеспечивает корректное совместное использование общей среды, предоставляя ее в соответствии с определенным алгоритмом в распоряжение

той или иной станции сети. После того как доступ к среде получен, ею может пользоваться более высокий уровень - уровень LLC, организующий передачу логических единиц данных, кадров информации, с различным уровнем качества транспортных услуг. В современных локальных сетях получили распространение несколько протоколов уровня MAC, реализующих различные алгоритмы доступа к разделяемой среде. Эти протоколы полностью определяют специфику таких технологий, как Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, Token Ring, FDDI, 100VG-AnyLAN.

Уровень LLC отвечает за передачу кадров данных между узлами с различной степенью надежности, а также реализует функции интерфейса с прилегающим к нему сетевым уровнем. Именно через уровень LLC сетевой протокол запрашивает у канального уровня нужную ему транспортную операцию с нужным качеством. На уровне LLC существует несколько режимов работы, отличающихся наличием или отсутствием на этом уровне процедур восстановления кадров в случае их потери или искажения, то есть отличающихся качеством транспортных услуг этого уровня.

Протоколы уровней MAC и LLC взаимно независимы - каждый протокол уровня MAC может применяться с любым протоколом уровня LLC, и наоборот.

Стандарты IEEE 802 имеют достаточно четкую структуру, приведенную на рис. 16:

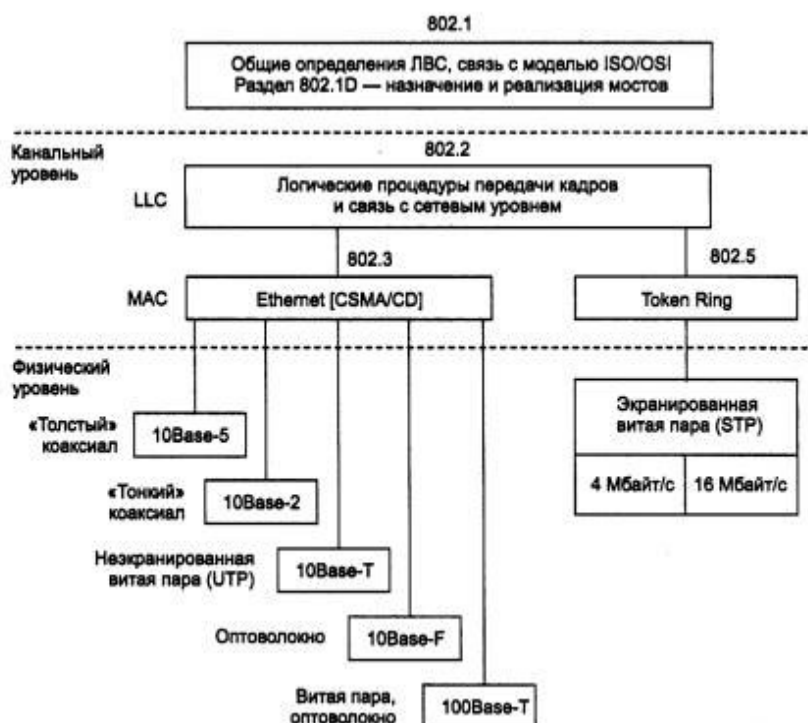


Рисунок 16. Структура стандартов IEEE 802.X

Эта структура появилась в результате большой работы, проведенной комитетом 802 по выделению в разных фирменных технологиях общих подходов и общих функций, а также согласованию стилей их описания. В результате канальный уровень был разделен на два упомянутых подуровня. Описание каждой технологии разделено на две части: описание уровня MAC и описание физического уровня. Как видно из рисунка, практически у каждой технологии единственному протоколу уровня MAC соответствует несколько вариантов протоколов физического уровня (на рисунке в целях экономии места приведены только технологии Ethernet и Token Ring, но все сказанное справедливо также и для остальных технологий, таких как ArcNet, FDDI, 100VG-AnyLAN).

Над канальным уровнем всех технологий изображен общий для них протокол LLC, поддерживающий несколько режимов работы, но независимый от выбора конкретной технологии. Стандарт LLC курирует подкомитет 802.2. Даже технологии, стандартизованные

не в рамках комитета 802, ориентируются на использование протокола LLC, определенного стандартом 802.2, например протокол FDDI, стандартизованный ANSI.

Особняком стоят стандарты, разрабатываемые подкомитетом 802.1. Эти стандарты носят общий для всех технологий характер. В подкомитете 802.1 были разработаны общие определения локальных сетей и их свойств, определена связь трех уровней модели IEEE 802 с моделью OSI. Но наиболее практически важными являются стандарты 802.1, которые описывают взаимодействие между собой различных технологий, а также стандарты по построению более сложных сетей на основе базовых топологий. Эта группа стандартов носит общее название стандартов межсетевого взаимодействия (internetworking). Сюда входят такие важные стандарты, как стандарт 802.1D, описывающий логику работы моста/коммутатора, стандарт 802.1H, определяющий работу транслирующего моста, который может без маршрутизатора объединять сети Ethernet и FDDI, Ethernet и Token Ring и т. п. Сегодня набор стандартов, разработанных подкомитетом 802.1, продолжает расти. Например, недавно он пополнился важным стандартом 802.1Q, определяющим способ построения виртуальных локальных сетей VLAN в сетях на основе коммутаторов.

Стандарты 802.3, 802.4, 802.5 и 802.12 описывают технологии локальных сетей, которые появились в результате улучшений фирменных технологий, легших в их основу. Так, основу стандарта 802.3 составила технология Ethernet, разработанная компаниями Digital, Intel и Xerox (или Ethernet DIX), стандарт 802.4 появился как обобщение технологии ArcNet компании Datapoint Corporation, а стандарт 802.5 в основном соответствует технологии Token Ring компании IBM.

Исходные фирменные технологии и их модифицированные варианты - стандарты 802.x в ряде случаев долгие годы существовали параллельно. Например, технология ArcNet так до конца не была приведена в соответствие со стандартом 802.4 (теперь это делать поздно, так как где-то примерно с 1993 года производство оборудования ArcNet было свернуто). Расхождения между технологией Token Ring и стандартом 802.5 тоже периодически возникают, так как компания IBM регулярно вносит усовершенствования в свою технологию и комитет 802.5 отражает эти усовершенствования в стандарте с некоторым запозданием. Исключение составляет технология Ethernet. Последний фирменный стандарт Ethernet DIX был принят в 1980 году, и с тех пор никто больше не предпринимал попыток фирменного развития Ethernet. Все новшества в семействе технологий Ethernet вносятся только в результате принятия открытых стандартов комитетом 802.3.

Более поздние стандарты изначально разрабатывались не одной компанией, а группой заинтересованных компаний, а потом передавались в соответствующий подкомитет IEEE 802 для утверждения. Так произошло с технологиями Fast Ethernet, 100VG-AnyLAN, Gigabit Ethernet. Группа заинтересованных компаний образовывала сначала небольшое объединение, а затем по мере развития работ к нему присоединялись другие компании, так что процесс принятия стандарта носил открытый характер.

Сегодня комитет 802 включает следующий ряд подкомитетов, в который входят как уже упомянутые, так и некоторые другие:

- 802.1 - Internetworking - объединение сетей;
- 802.2 - Logical Link Control, LLC - управление логической передачей данных;
- 802.3 - Ethernet с методом доступа CSMA/CD;
- 802.4 - Token Bus LAN - локальные сети с методом доступа Token Bus;
- 802.5 - Token Ring LAN - локальные сети с методом доступа Token Ring;
- 802.6 - Metropolitan Area Network, MAN - сетимегалополисов;
- 802.7 - Broadband Technical Advisory Group - техническая консультационная группа по широкополосной передаче;
- 802.8 - Fiber Optic Technical Advisory Group - техническая консультационная группа по волоконно-оптическим сетям;
- 802.9 - Integrated Voice and data Networks - интегрированные сети передачи голоса и данных;
- 802.10 - Network Security - сетевая безопасность;

802.11 - Wireless Networks - беспроводные сети;
802.12 - Demand Priority Access LAN, 100VG-AnyLAN - локальные сети с методом доступа по требованию с приоритетами.

Лекция №5. Сетевое оборудование

Вопросы:

1. Сетевые адаптеры.
2. Концентраторы.
3. Коммутаторы.
4. Маршрутизатор.

1. Сетевые адаптеры.

Сетевой адаптер (Network Interface Card, NIC) - это периферийное устройство компьютера, непосредственно взаимодействующее со средой передачи данных, которая прямо или через другое коммуникационное оборудование связывает его с другими компьютерами. Это устройство решает задачи надежного обмена двоичными данными, представленными соответствующими электромагнитными сигналами, по внешним линиям связи. Как и любой контроллер компьютера, сетевой адаптер работает под управлением драйвера операционной системы и распределение функций между сетевым адаптером и драйвером может изменяться от реализации к реализации. Сетевые адаптеры и кабели являются аппаратной основой организации компьютерных сетей, их нормальная работа жизненно важна для сети. С кабелями и адаптерами связано обычно 80% неполадок в сети.

Сетевой адаптер вместе со своим драйвером реализует второй, канальный уровень модели открытых систем в конечном узле сети – компьютере.

Сетевой адаптер совместно с драйвером выполняет две операции: передачу и прием кадра.

В каждом компьютере должен быть установлен сетевой адаптер, обеспечивающий подключение к выбранному типу кабеля. Платы сетевого адаптера выступают в качестве физического интерфейса, или соединения между компьютером и сетевым кабелем. Платы вставляются в слоты расширения всех сетевых компьютеров и серверов.

В большинстве современных стандартов для локальных сетей предполагается, что между сетевыми адаптерами взаимодействующих компьютеров устанавливается специальное коммуникационное устройство (концентратор, мост, коммутатор или маршрутизатор), которое берет на себя некоторые функции по управлению потоком данных.

Сетевой адаптер обычно выполняет следующие функции:

- Формирование передаваемой информации в виде кадра определенного формата. Кадр включает несколько служебных полей, среди которых имеется адрес компьютера назначения и контрольная сумма кадра, по которой сетевой адаптер станции назначения делает вывод о корректности доставленной по сети информации.
- Получение доступа к среде передачи данных. В локальных сетях в основном применяются разделяемые между группой компьютеров каналы связи (общая шина, кольцо), доступ к которым предоставляется по специальному алгоритму (наиболее часто применяются метод случайного доступа или метод с передачей маркера доступа по кольцу).
- Кодирование последовательности бит кадра последовательностью электрических сигналов при передаче данных и декодирование при их приеме.
- Преобразование информации из параллельной формы в последовательную и обратно. Эта операция связана с тем, что для упрощения проблемы синхронизации сигналов и удешевления линий связи в вычислительных сетях информация передается в последовательной форме, бит за битом, а не побайтно, как внутри компьютера.
- Синхронизация битов, байтов и кадров. Для устойчивого приема передаваемой информации необходимо поддержание постоянного синхронизма приемника и передатчика информации. Сетевой адаптер использует для решения этой задачи специальные методы кодирования, не использующие дополнительной шины с тактовыми синхросигналами. Эти методы обеспечивают периодическое изменение состояния передаваемого сигнала, которое используется тактовым генератором приемника для подстройки синхронизма. Кроме

синхронизации на уровне битов, сетевой адаптер решает задачу синхронизации и на уровне байтов, и на уровне кадров.

Функцией сетевого адаптера является передача и прием сетевых сигналов из кабеля. Адаптер воспринимает команды и данные от сетевой операционной системы (ОС), преобразует эту информацию в один из стандартных форматов и передает ее в сеть через подключенный к адаптеру кабель.

Сетевые адаптеры различаются также по типу принятой в сети сетевой технологии - Ethernet, Token Ring, FDDI и т.п. Как правило, конкретная модель сетевого адаптера работает по определенной сетевой технологии (например, Ethernet). В связи с тем, что для каждой технологии сейчас имеется возможность использования различных сред передачи данных (тот же Ethernet поддерживает коаксиальный кабель, неэкранированную витую пару и оптоволоконный кабель), сетевой адаптер может поддерживать как одну, так и одновременно несколько сред. В случае, когда сетевой адаптер поддерживает только одну среду передачи данных, а необходимо использовать другую, применяются трансиверы и конверторы.

2. Концентраторы.

Концентратор (hub) – это сетевое устройство, предназначенное для объединения устройств сети в сегменты. Основной принцип его работы заключается в трансляции пакетов, поступающих на один из его портов на все другие порты. Таким образом, пакет, поступивший в сеть, будет отправлен всем остальным устройствам сети, т.е. будет осуществляться широковещательная передача. Концентратор работает на физическом уровне модели взаимодействия открытых систем (OSI). Концентратор используется в различных технологиях: ATM, xDSL, Token Ring, но наибольшее распространение он нашел в технологии Ethernet.

Концентратор можно рассматривать как репитер с несколькими выходами. В отличие от switch он не анализирует содержимое пакетов или их заголовки, а просто копирует их. Hub не позволяет увеличить число устройств в одном сегменте или разгрузить его, уменьшив число коллизий. Основная его задача – это подключение новых устройств к сети и организация ее топологии. Кроме того, hub может быть использован для организации резервных каналов.

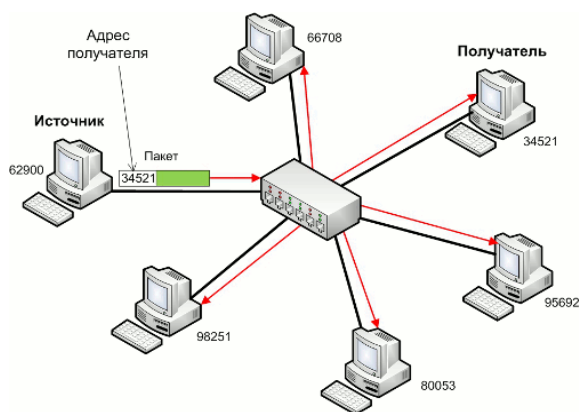


Рисунок 17. Пример работы сети с концентратором

Главным достоинством концентратора является простота реализации и, соответственно, невысокая стоимость. Однако из-за того, что он просто копирует пакеты во все свои порты, то в сети увеличивается вероятность возникновения коллизий. Это может привести к снижению скорости передачи и времени доставки пакетов. Именно поэтому вместо концентраторов обычно стараются применять коммутаторы, которые передают пакеты только к тому порту, к которому подключен компьютер получатель.

В зависимости от выполняемых задач можно встретить различные по емкости концентраторы от 4 до 64 портов. Однако это не предел. Они могут объединяться в более емкие устройства. Максимально возможное число работающих в спаренном режиме устройств ограничивается лишь характеристиками используемой технологии (для Ethernet –

1024 портов в одном сегменте). Концентраторы отличаются также по типу используемых проводников (витая пара, коаксиальный кабель) и используемой среде передачи (электрический или оптический кабель).

3. Коммутаторы.

Сетевой коммутатор (network switch) – это устройство, используемое в сетях передачи пакетов, предназначенное для объединения нескольких сегментов. В отличие от маршрутизатора (router) коммутатор работает на канальном уровне модели OSI, что и определяет главные различия между ними. Коммутатор не занимается расчетом маршрута для дальнейшей передачи пакетов по сети, анализируя различные факторы, как это делает маршрутизатор. Switch только передает данные от одного порта к другому на основе содержащейся в пакете информации. Обычно признаком выбора выходного порта служит MAC-адрес устройства, к которому передаются данные. В свою очередь коммутатор в отличие от концентратора или репитера не просто транслирует порты ко всем выходам, которые у него есть, а к одному, заранее выбранному.

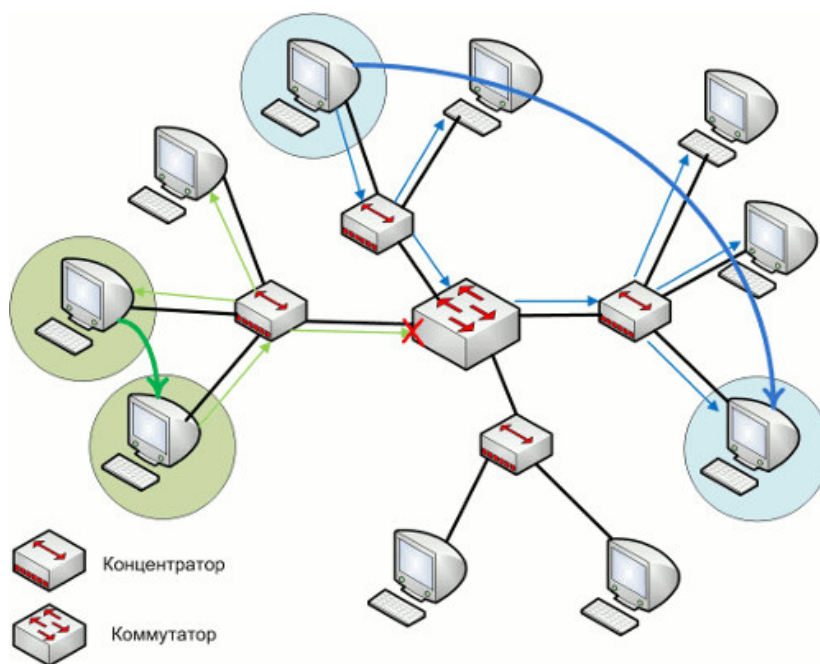


Рисунок 18. Пример сети с коммутатором

Сетевые коммутаторы применяются в нескольких технологиях, но наибольшее распространение нашли в Ethernet. Главной их задачей в сети Ethernet является разделение сети на сегменты. Это особенно актуально в сетях с большим числом рабочих станций, т.к. чем больше конечных устройств работают одновременно с единой средой передачи данных тем выше вероятность возникновения коллизии (одновременной передачи данных несколькими устройствами) и, следовательно, ниже эффективность работы сети. Коммутатор позволяет разбить единую сеть на несколько сегментов и увеличить число одновременно работающих устройств.

Существуют управляемые и неуправляемые коммутаторы. Неуправляемые коммутаторы самонастраиваются после включения в сеть. Они анализируют MAC-адреса всех устройств, подключенных к ним и будут осуществлять коммутацию между портами на основе анализа заголовка пакета, в котором содержится MAC-адресом устройства-получателя. Управляемые коммутаторы предоставляют интерфейс для администратора, который может выполнить его настройку для работы в конкретной сети. Например, есть возможность выбора режима защиты от отказа (в случае работы в паре с резервным коммутатором), объединения нескольких портов в единое направление, настройки

приоритетов и резервирования портов и мн. др. Обычно управляемые коммутаторы дороже и используются в емких сетях, с дополнительными требованиями по надежности.

Switch может быть выполнен и в виде небольшой платы на 4 порта и многополочного штатива с возможностью интеграции дополнительных устройств и расширения емкости. Также в зависимости от назначения сетевой коммутатор может снабжаться автономным питанием, портами управления и резервирования, охлаждением.

4. Маршрутизатор.

Маршрутизатор – это устройство пакетной сети передачи данных, предназначенное для объединения сегментов сети и ее элементов и служит для передачи пакетов между ними на основе каких-либо правил. Маршрутизаторы работают на сетевом (третьем) уровне модели OSI в качестве узловых устройств для различных технологий: IP, ATM, Frame Relay и мн. др.

Одной из самых важных задач маршрутизаторов является выбор оптимального маршрута передачи пакетов между подключенными сетями. Причем сделать это необходимо максимально оперативно с минимальной временной задержкой. Одновременно с этим должна отслеживаться текущая обстановка в сети для исключения из возможных путей доставки перегруженные и поврежденные участки. Практически все маршрутизаторы используют в своей работе, так называемые, таблицы маршрутизации. Это своеобразные базы данных, которые содержат информацию обо всех возможных маршрутах передачи пакетов с некоторой дополнительной информацией, которая берется в расчет при выборе оптимального варианта доставки. Это может быть состояние канала, время доставки информации, загруженность, полоса пропускания и др.

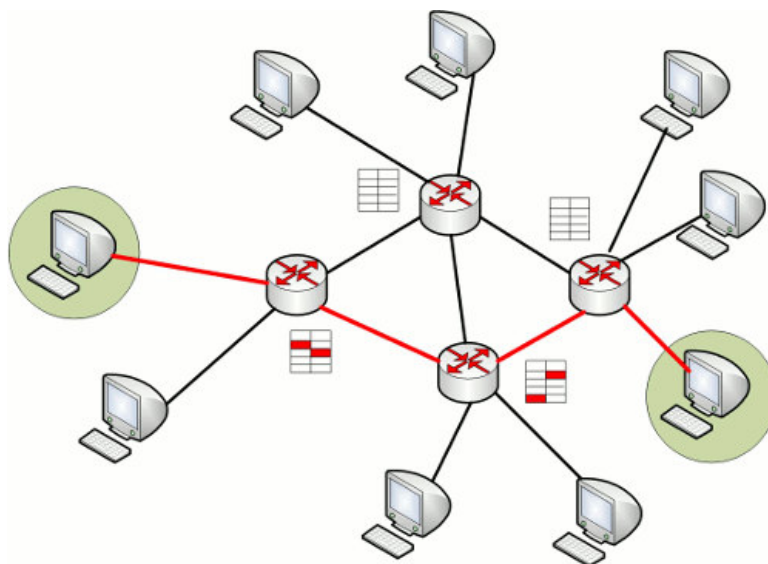


Рисунок 19. Пример работы маршрутизаторов в сети пакетной передачи данных

Важным аспектом работы маршрутизаторов является способ обновления информации в таблицах маршрутизации. Это может выполняться двумя способами вручную и автоматически. В первом случае администратор сети самостоятельно настраивает таблицы маршрутизации. Такой вариант подходит только для небольших сетей, конфигурация которых изменяется редко. Маршрутизаторы первого типа называются статическими. Автоматическое обновление таблиц маршрутизации выполняется с помощью обмена информационными сообщениями между соседними маршрутизаторами о текущей обстановке, а также проверке соединительных каналов между ними. Такие маршрутизаторы называются динамическими. Главный их недостаток заключается в необходимости дополнительных сетевых и вычислительных ресурсов для обмена данными и расчета маршрута. Однако динамические маршрутизаторы могут быть использованы при построении сетей любого масштаба.

Маршрутизаторы бывают как проводные – наиболее классический тип с несколькими портами, в которые подключаются кабели от внешних устройств, так и беспроводные, например, используемые для построения сетей WiFi. Также маршрутизаторы значительно различаются по емкости. Это могут быть как небольшие роутеры с 8-12 портами, которые используются при построении локальных сетей, так и громоздкие модульные конструкции, рассчитанные на сотни подключаемых сегментов.

Лекция №6, 7, 8 Протоколы маршрутизации

Вопросы:

1. Классификация протоколов маршрутизации.
2. Алгоритмы маршрутизации.
3. Внешние и внутренние шлюзовые протоколы.

1.Классификация протоколов маршрутизации

Протоколы маршрутизации предназначены для автоматического построения таблиц маршрутизации, на основе которых происходит продвижение пакетов сетевого уровня. Протоколы маршрутизации, в отличие от сетевых протоколов, таких как IP и IPX, не являются обязательными, так как таблица маршрутизации может быть построена администратором сети вручную. При этом в крупных сетях со сложной топологией и большим количеством альтернативных маршрутов протоколы маршрутизации выполняют очень важную и полезную работу, автоматизируя построение таблиц маршрутизации, динамически адаптируя текущий набор рабочих маршрутов к состоянию сети и повышая тем самым ее производительность и надежность.

В настоящее время существует ряд протоколов обеспечивающих маршрутизацию в Ad-Hoc сетях. По принципу поиска маршрута выделяют три класса протоколов: проактивные, реактивные и комбинированные.

Проактивные протоколы маршрутизации

Эти типы протоколов обеспечивают предварительное построение таблицы маршрутизации, в которую включаются все известные маршруты. Подобный подход используют все протоколы маршрутизации в проводных локальных сетях. В этом случае, пересылка пакетов начинается без задержек, но присутствуют накладные расходы на поиск маршрутов и построение таблицы маршрутизации, потому что необходимо получить всю необходимую информацию о топологии сети до начала передачи пакетов. В дальнейшем данные протоколы предполагают дополнительные расходы на поддержание маршрутной информации в актуальном виде. Примерами являются DSDV (Destination Sequenced Distance Vector), OLSR (Optimized Link State Routing).

Реактивные протоколы маршрутизации

Эти типы протоколов называются протоколами по требованию. Узлы не хранят необходимую маршрутную информацию все время. Узел инициирует построение маршрута по требованию, в момент поступления запроса на передачу данных. Этот механизм построения маршрута основан на алгоритме наводнения, узел просто передает первый пакет всем своим соседям, а промежуточные узлы перенаправляют его далее, к своим соседям. Это повторяющиеся действия позволяют доставить пакет до пункта назначения. Как правило, при прохождении пакета запоминается маршрут прохождения (например, в виде списка задействованных узлов) и впоследствии при передаче последующих пакетов эта информация используется для выбора направления. Реактивные методы имеют меньшие накладные расходы на маршрутизацию, но большую задержку при инициации передачи, потому что маршрут между узлами будет найден только тогда, когда один из узлов получит запрос на передачу. Примерами реактивных протоколов являются DSR (Dynamic Source Routing), AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector), TOPA (Temporally ordered routing algorithm).

Гибридные протоколы маршрутизации

Гибридные протоколы являются комбинации реактивного и проактивного подходов. Они используют преимущества этих двух протоколов и, как следствие, достаточно эффективно работают в отдельных случаях. Примером гибридного протокола может являться ZRP (Zone Routing Protocol) и HWMP (Hybrid Wireless Mesh Protocol).

2. Алгоритмы маршрутизации.

Алгоритмы маршрутизации применяются для определения оптимального пути пакетов от источника к получателю и являются основой любого протокола маршрутизации.

Типы алгоритмов

Алгоритмы маршрутизации могут быть классифицированы по типам:

- **Статические или динамические.** Статические алгоритмы представляют свод правил работы со статическими таблицами маршрутизации, которые настраиваются администраторами сети. Хорошо работают в случае предсказуемого трафика в сетях стабильной конфигурации. Динамические алгоритмы маршрутизации подстраиваются к изменяющимся обстоятельствам сети в масштабе реального времени. Они выполняют это путем анализа поступающих сообщений об обновлении маршрутизации. Если в сообщении указывается, что имело место изменение сети, программы маршрутизации пересчитывают маршруты и рассылают новые сообщения о корректировке маршрутизации. Такие сообщения пронизывают сеть, стимулируя маршрутизаторы заново прогонять свои алгоритмы и соответствующим образом изменять таблицы маршрутизации. Динамические алгоритмы маршрутизации могут дополнять, где это уместно, статические маршруты.

- **Одномаршрутные или многомаршрутные алгоритмы.** Некоторые сложные протоколы маршрутизации обеспечивают множество маршрутов к одному и тому же пункту назначения. Такие многомаршрутные алгоритмы делают возможной мультиплексную передачу трафика по многочисленным линиям, одномаршрутные алгоритмы не могут делать этого. Мномаршрутные алгоритмы могут обеспечить значительно большую пропускную способность и надежность.

- **Одноуровневые или иерархические алгоритмы.** Отличаются по принципу взаимодействия друг с другом. В одноуровневой системе маршрутизации все рутеры равны по отношению друг к другу. В иерархической системе маршрутизации пакеты данных перемещаются от роутеров нижнего уровня к базовым, которые осуществляют основную маршрутизацию. Как только пакеты достигают общей области пункта назначения, они перемещаются вниз по иерархии до хоста назначения.

- **Алгоритмы с маршрутизацией от источника.** В системах маршрутизации от источника роутеры действуют просто как устройства хранения и пересылки пакета, без всякого раздумия отсылая его к следующей остановке, они предполагают, что отправитель рассчитывает и определяет весь маршрут сам. Другие алгоритмы предполагают, что хост отправителя ничего не знает о маршрутах. При использовании такого рода алгоритмов роутеры определяют маршрут через сеть, базируясь на своих собственных расчетах.

- **Внутридоменные или междоменные алгоритмы.** Некоторые алгоритмы маршрутизации действуют только в пределах доменов; другие - как в пределах доменов, так и между ними.

- **Алгоритмы состояния канала и дистанционно-векторные.** Алгоритмы состояния канала направляют потоки маршрутной информации во все узлы сети. Каждый роутер отправляет только ту часть известной ему информации, которая описывает состояние его собственных каналов, но всем узлам маршрутизации. Дистанционно-векторные требуют от каждого роутера пересылки всей или части его таблицы не только соседям.

Качество алгоритма определяется следующими показателями:

- Оптимальность,
- Простота и низкие непроизводительные затраты,
- Живучесть и стабильность,
- Быстрая сходимость,
- Гибкость.

Оптимальность

Оптимальность характеризует способность алгоритма маршрутизации выбирать "наилучший" маршрут. Наилучший маршрут зависит от показателей и от "веса" этих показателей, используемых при проведении расчета.

Простота и низкие непроизводительные затраты

Алгоритмы маршрутизации разрабатываются как можно более простыми, чтобы эффективно обеспечивать свои функциональные возможности, с минимальными затратами программного обеспечения. Особенно это важно, когда маршрутизация, должна выполняться в компьютере с ограниченными физическими ресурсами.

Живучесть и стабильность

Алгоритмы маршрутизации должны обладать живучестью. Другими словами, они должны четко функционировать в случае неординарных или непредвиденных обстоятельств, таких как отказы аппаратуры, условия высокой нагрузки и некорректные реализации. Т.к. роутеры расположены в узловых точках сети, их отказ может вызвать значительные проблемы.

Часто наилучшими алгоритмами маршрутизации оказываются те, которые выдержали испытание временем и доказали свою надежность в различных условиях работы сети.

Быстрая сходимость

Алгоритмы маршрутизации должны быстро сходиться. Сходимость - это процесс соглашения между всеми роутерами по оптимальным маршрутам. Когда какое-нибудь событие в сети приводит к тому, что маршруты или отвергаются, или наоборот, становятся доступными, роутеры рассылают сообщения об обновлении маршрутизации. Такие сообщения пронизывают сети, стимулируя пересчет оптимальных маршрутов и, в конечном итоге, вынуждая все роутеры прийти к соглашению по этим маршрутам. Алгоритмы маршрутизации, которые сходятся медленно, могут привести к образованию петель маршрутизации или выходам из строя сети.

Гибкость

Алгоритмы маршрутизации должны быть также гибкими, т.е. быстро и точно адаптироваться к разнообразным обстоятельствам в сети, таким как изменения полосы пропускания сети, размеров очереди к роутеру, величины задержки сети и других переменных. Например, предположим, что сегмент сети отвергнут. Многие алгоритмы маршрутизации, после того как они узнают об этой проблеме, быстро выбирают следующий наилучший путь для всех маршрутов, которые обычно используют этот сегмент.

Маршрутные таблицы содержат информацию, которую используют программы для выбора наилучшего маршрута. Ниже перечислены показатели, которые используются в алгоритмах маршрутизации:

- Длина маршрута,
- Надежность,
- Задержка,
- Ширина полосы пропускания,
- Нагрузка,
- Стоимость связи.

Сложные алгоритмы маршрутизации при выборе маршрута могут базироваться на множестве показателей, комбинируя их таким образом, что в результате получается один отдельный (гибридный) показатель.

Длина маршрута

Длина маршрута является наиболее общим показателем маршрутизации. Некоторые протоколы маршрутизации позволяют администраторам сети назначать произвольные цены на каждый канал сети. В этом случае длиной тракта является сумма расходов, связанных с каждым каналом. Другие протоколы маршрутизации определяют "количество пересылок", т.е. показатель, характеризующий число проходов, которые пакет должен совершить на пути от источника до пункта назначения через изделия объединения сетей (такие как роутеры).

Надежность

Надежность каждого канала сети в контексте алгоритмов маршрутизации обычно описывается в терминах отношения бит/ошибка. Некоторые каналы сети могут отказывать чаще, чем другие. Отказы одних каналов сети могут быть устранены легче или быстрее, чем отказы других каналов. При назначении оценок надежности могут быть приняты в расчет любые факторы надежности. Оценки надежности обычно назначаются каналам сети администраторами сети. Как правило, это произвольные цифровые величины.

Задержка

Под задержкой маршрутизации обычно понимают отрезок времени, необходимый для передвижения пакета от источника до пункта назначения через объединенную сеть. Задержка зависит от многих факторов, включая полосу пропускания промежуточных каналов сети, очереди в порт каждого роутера на пути передвижения пакета, перегруженность сети на всех промежуточных каналах сети и физическое расстояние, на которое необходимо переместить пакет. Т.к. здесь имеет место конгломерация нескольких важных переменных, задержка является наиболее общим и полезным показателем.

Полоса пропускания

Полоса пропускания относится к имеющейся мощности трафика какого-либо канала. При прочих равных показателях, канал Ethernet 10 Mbps предпочтителен любой арендованной линии с полосой пропускания 64 Кбайт/сек. Хотя полоса пропускания является оценкой максимально достижимой пропускной способности канала, маршруты, проходящие через каналы с большей полосой пропускания, не обязательно будут лучше маршрутов, проходящих через менее быстроедействующие каналы.

3. Внешние и внутренние шлюзовые протоколы.

Такое решение было найдено для самой крупной на сегодня составной сети — Интернета. Это решение базируется на понятии автономной системы.

Обычно автономной системой управляет один поставщик услуг Интернета, самостоятельно выбирая, какие протоколы маршрутизации должны использоваться в некоторой автономной системе и каким образом между ними должно выполняться перераспределение маршрутной информации. Крупные поставщики услуг и корпорации могут представить свою составную сеть как набор нескольких автономных систем. Регистрация автономных систем происходит централизованно, как и регистрация IP-адресов и DNS-имен. Номер автономной системы состоит из 16 разрядов и никак не связан с префиксами IP-адресов входящих в нее сетей.

В соответствии с этой концепцией Интернет выглядит как набор взаимосвязанных автономных систем, каждая из которых состоит из взаимосвязанных сетей (рис. 20), соединенными внешними шлюзами.

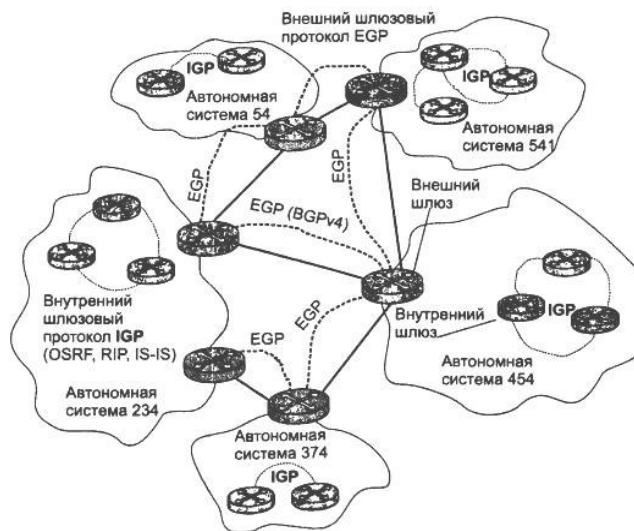


Рисунок 20 Автономные системы Интернета

Основная цель деления Интернета на автономные системы — обеспечение многоуровневого подхода к маршрутизации. До введения автономных систем предполагался двухуровневый подход, то есть сначала маршрут определялся как последовательность сетей, а затем вел непосредственно к заданному узлу в конечной сети (именно этот подход мы использовали до сих пор).

С появлением автономных систем появляется третий, верхний, уровень маршрутизации — теперь сначала маршрут определяется как последовательность автономных систем, затем — как последовательность сетей и только потом ведет к конечному узлу.

Выбор маршрута между автономными системами осуществляют внешние шлюзы, использующие особый тип протокола маршрутизации, так называемый внешний шлюзовый протокол (Exterior Gateway Protocol, EGP). В настоящее время для работы в такой роли сообщество Интернета утвердило стандартный пограничный шлюзовый протокол версии 4 (Border Gateway Protocol, BGPv4). В качестве адреса следующего маршрутизатора в протоколе BGPv4 указывается адрес точки входа в соседнюю автономную систему.

За маршрут внутри автономной системы отвечают внутренние шлюзовые протоколы (Interior Gateway Protocol, IGP). К числу IGP относятся знакомые нам протоколы RIP, OSPF и IS-IS. В случае транзитной автономной системы эти протоколы указывают точную последовательность маршрутизаторов от точки входа в автономную систему до точки выхода из нее.

Внутри каждой автономной системы может применяться любой из существующих протоколов маршрутизации, в то время как между автономными системами всегда применяется один и тот же протокол, являющийся своеобразным языком «эсперанто», на котором автономные системы общаются между собой.

Концепция автономных систем скрывает от администраторов магистрали Интернета проблемы маршрутизации пакетов на более низком уровне — уровне сетей. Для администратора магистрали неважно, какие протоколы маршрутизации применяются внутри автономных систем, для него существует единственный протокол маршрутизации — BGPv4.

Лекция №9. Протокол TCP/IP.

Вопросы:

1. Протоколы TCP/IP.
2. Архитектура TCP/IP.

1. Протоколы TCP/IP.

TCP/IP - это два основных сетевых протокола Internet. Часто это название используют и для обозначения сетей, работающих на их основе. Протокол IP (Internet Protocol - IP v4) обеспечивает маршрутизацию (доставку по адресу) сетевых пакетов. Протокол TCP (Transfer Control Protocol) обеспечивает установление надежного соединения между двумя машинами и собственно передачу данных, контролируя оптимальный размер пакета передаваемых данных и осуществляя перепосылку в случае сбоя. Число одновременно устанавливаемых соединений между абонентами сети не ограничивается, т. е. любая машина может в некоторый промежуток времени обмениваться данными с любым количеством других машин по одной физической линии.

Другое важное преимущество сети с протоколами TCP/IP состоит в том, что по нему могут быть объединены машины с разной архитектурой и разными операционными системами, например Unix, VAX VMS, MacOS, MS-DOS, MS Windows и т.д. Причем машины одной системы при помощи сетевой файловой системы NFS (Net File System) могут подключать к себе диски с файловой системой совсем другой ОС и оперировать "чужими" файлами как своими.

Протоколы TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) являются базовыми транспортным и сетевым протоколами в OS UNIX. В заголовке TCP/IP пакета указывается:

IP-адрес отправителя IP-адрес получателя Номер порта (Фактически - номер прикладной программы, которой этот пакет предназначен)

Пакеты TCP/IP имеют уникальную особенность добраться до адресата, пройдя сквозь разнородные в том числе и локальные сети, используя разнообразные физические носители. Маршрутизацию IP-пакета (переброску его в требуемую сеть) осуществляют на добровольных началах компьютеры, входящие в TCP/IP сеть.

Протокол IP - это протокол, описывающий формат пакета данных, передаваемого по сети.

Следующий простой пример может прояснить, каким образом происходит передача данных и передача данных. Когда Вы получаете телеграмму, весь текст в ней (и адрес, и сообщение) написан на ленте подряд, но есть правила, позволяющие понять, где тут адрес, а где сообщение. Аналогично, пакет в компьютерной сети представляет собой поток битов, а протокол IP определяет, где адрес и прочая служебная информация, а где сами передаваемые данные. Таким образом, протокол IP в эталонной модели ISO/OSI является протоколом сетевого (3) уровня.

Протокол TCP - это протокол следующего уровня, предназначенный для контроля передачи и целостности передаваемой информации.

Когда Вы не слышали, что сказал Вам собеседник в телефонном разговоре, Вы просите его повторить сказанное. Приблизительно этим занимается и протокол TCP применительно к компьютерным сетям. Компьютеры обмениваются пакетами протокола IP, контролируют их передачу по протоколу TCP и, объединяясь в глобальную сеть, образуют Интернет. Протокол TCP является протоколом транспортного (4) уровня.

2. Архитектура TCP/IP.

После того как семейство протоколов TCP/IP было реализовано и внедрено, Международная организация по стандартизации (International Organization for Standardization, ISO) предложила собственную семиуровневую сетевую модель, названную OSI (Open System Interconnection — взаимодействие открытых систем). Она так никогда и не приобрела широкой популярности из-за своей сложности и неэффективности.

В данной модели обмен информацией может быть представлен в виде стека, представленного на рисунке 21. Как видно из рисунка, в этой модели определяется все - от стандарта физического соединения сетей до протоколов обмена прикладного программного обеспечения. Дадим некоторые комментарии к этой модели.

Физический уровень данной модели определяет характеристики физической сети передачи данных, которая используется для межсетевого обмена. Это такие параметры, как:

напряжение в сети, сила тока, число контактов на разъемах и т.п. Типичными стандартами этого уровня являются, например RS232C, V35, IEEE 802.3 и т.п.



Рисунок 21. Семиуровневая модель протоколов межсетевого обмена OSI

К канальному уровню отнесены протоколы, определяющие соединение, например, SLIP (Strial Line Internet Protocol), PPP (Point to Point Protocol), NDIS, пакетный протокол, ODI и т.п. В данном случае речь идет о протоколе взаимодействия между драйверами устройств и устройствами, с одной стороны, а с другой стороны, между операционной системой и драйверами устройства. Такое определение основывается на том, что драйвер - это, фактически, конвертор данных из одного формата в другой, но при этом он может иметь и свой внутренний формат данных.

К сетевому (межсетевому) уровню относятся протоколы, которые отвечают за отправку и получение данных, или, другими словами, за соединение отправителя и получателя. Вообще говоря, эта терминология пошла от сетей коммутации каналов, когда отправитель и получатель действительно соединяются на время работы каналом связи. Применительно к сетям TCP/IP, такая терминология не очень приемлема. К этому уровню в TCP/IP относят протокол IP (Internet Protocol). Именно здесь определяется отправитель и получатель, именно здесь находится необходимая информация для доставки пакета по сети.

Транспортный уровень отвечает за надежность доставки данных, и здесь, проверяя контрольные суммы, принимается решение о сборке сообщения в одно целое. В Internet транспортный уровень представлен двумя протоколами TCP (Transport Control Protocol) и UDP (User Datagramm Protocol). Если предыдущий уровень (сетевой) определяет только правила доставки информации, то транспортный уровень отвечает за целостность доставляемых данных.

Уровень сессии определяет стандарты взаимодействия между собой прикладного программного обеспечения. Это может быть некоторый промежуточный стандарт данных или правила обработки информации. Условно к этому уровню можно отнести механизм портов протоколов TCP и UDP и Berkeley Sockets. Однако обычно, рамках архитектуры TCP/IP такого подразделения не делают.

Уровень обмена данными с прикладными программами (Presentation Layer) необходим для преобразования данных из промежуточного формата сессии в формат данных приложения. В Internet это преобразование возложено на прикладные программы.

Уровень прикладных программ или приложений определяет протоколы обмена данными этих прикладных программ. В Internet к этому уровню могут быть отнесены такие протоколы, как: FTP, TELNET, HTTP, GOPHER и т.п.

Вообще говоря, стек протоколов TCP отличается от только что рассмотренного стека модели OSI. Обычно его можно представить в виде схемы, представленной на рисунке 22.

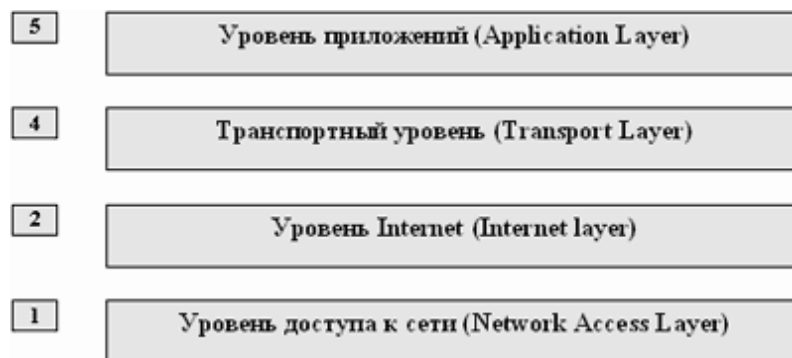


Рисунок 22. Структура стека протоколов TCP/IP

В этой схеме на уровне доступа к сети располагаются все протоколы доступа к физическим устройствам. Выше располагаются протоколы межсетевого обмена IP, ARP, ICMP. Еще выше основные транспортные протоколы TCP и UDP, которые кроме сбора пакетов в сообщения еще и определяют какому приложению необходимо данные отправить или от какого приложения необходимо данные принять. Над транспортным уровнем располагаются протоколы прикладного уровня, которые используются приложениями для обмена данными.

Базируясь на классификации OSI (Open System Integration) всю архитектуру протоколов семейства TCP/IP попробуем сопоставить с эталонной моделью (рисунок 23).

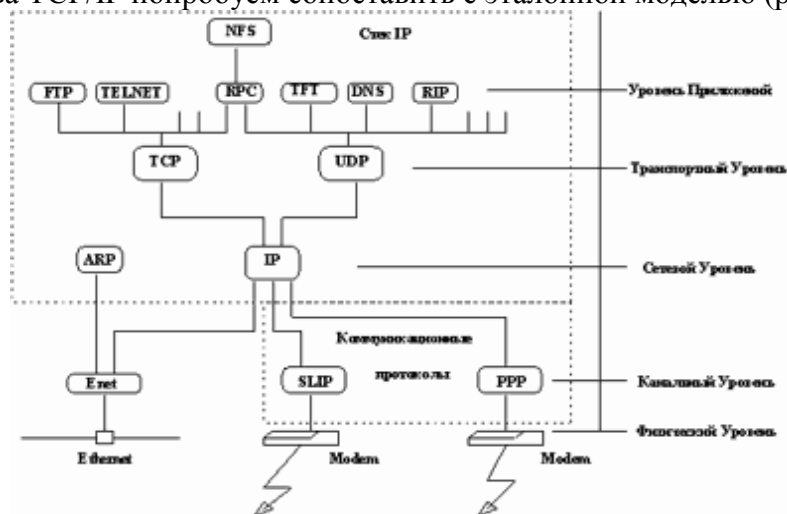


Рисунок 23. Схема модулей, реализующих протоколы семейства TCP/IP в узле сети

Прямоугольниками на схеме обозначены модули, обрабатывающие пакеты, линиями - пути передачи данных. Прежде чем обсуждать эту схему, введем необходимую для этого терминологию.

Драйвер - программа, непосредственно взаимодействующая с сетевым адаптером.

Модуль - это программа, взаимодействующая с драйвером, с сетевыми прикладными программами или с другими модулями.

Схема приведена для случая подключения узла сети через локальную сеть Ethernet, поэтому названия блоков данных будут отражать эту специфику.

Сетевой интерфейс - физическое устройство, подключающее компьютер к сети. В нашем случае - карта Ethernet.

Кадр - это блок данных, который принимает/отправляет сетевой интерфейс.

IP-пакет - это блок данных, которым обменивается модуль IP с сетевым интерфейсом.

UDP-датаграмма - блок данных, которым обменивается модуль IP с модулем UDP.

TCP-сегмент - блок данных, которым обменивается модуль IP с модулем TCP.

Прикладное сообщение - блок данных, которым обмениваются программы сетевых приложений с протоколами транспортного уровня.

Инкапсуляция - способ упаковки данных в формате одного протокола в формат другого протокола. Например, упаковка IP-пакета в кадр Ethernet или TCP-сегмента в IP-пакет. Согласно словарю иностранных слов термин "инкапсуляция" означает "образование капсулы вокруг чужих для организма веществ (инородных тел, паразитов и т.д.)". В рамках межсетевого обмена понятие инкапсуляции имеет несколько более расширенный смысл. Если в случае инкапсуляции IP в Ethernet речь идет действительно о помещении пакета IP в качестве данных Ethernet-фрейма, или, в случае инкапсуляции TCP в IP, помещение TCP-сегмента в качестве данных в IP-пакет, то при передаче данных по коммутируемым каналам происходит дальнейшая "нарезка" пакетов теперь уже на пакеты SLIP или фреймы PPP.



Рисунок 24. Инкапсуляция протоколов верхнего уровня в протоколы TCP/IP

Вся схема (рисунок 24) называется стеком протоколов TCP/IP или просто стеком TCP/IP. Чтобы не возвращаться к названиям протоколов расшифруем аббревиатуры TCP, UDP, ARP, SLIP, PPP, FTP, TELNET, RPC, TFTP, DNS, RIP, NFS:

TCP - Transmission Control Protocol - базовый транспортный протокол, давший название всему семейству протоколов TCP/IP.

UDP - User Datagram Protocol - второй транспортный протокол семейства TCP/IP. Различия между TCP и UDP будут обсуждены позже.

ARP - Address Resolution Protocol - протокол используется для определения соответствия IP-адресов и Ethernet-адресов.

SLIP - Serial Line Internet Protocol (Протокол передачи данных по телефонным линиям).

PPP - Point to Point Protocol (Протокол обмена данными "точка-точка").

FTP - File Transfer Protocol (Протокол обмена файлами).

TELNET - протокол эмуляции виртуального терминала.

RPC - Remote Process Control (Протокол управления удаленными процессами).

TFTP - Trivial File Transfer Protocol (Тривиальный протокол передачи файлов).

DNS - Domain Name System (Система доменных имен).

RIP - Routing Information Protocol (Протокол маршрутизации).

NFS - Network File System (Распределенная файловая система и система сетевой печати).

При работе с такими программами прикладного уровня, как FTP или telnet, образуется стек протоколов с использованием модуля TCP, представленный на рисунке 25.

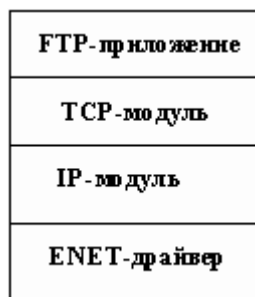


Рисунок 25. Стек протоколов при использовании модуля TCP

При работе с прикладными программами, использующими транспортный протокол UDP, например, программные средства Network File System (NFS), используется другой стек, где вместо модуля TCP будет использоваться модуль UDP (рисунок 26).



Рисунок 26. Стек протоколов при работе через транспортный протокол UDP

При обслуживании блочных потоков данных модули TCP, UDP и драйвер ENET работают как мультиплексоры, т.е. перенаправляют данные с одного входа на несколько выходов и наоборот, с многих входов на один выход. Так, драйвер ENET может направить кадр либо модулю IP, либо модулю ARP, в зависимости от значения поля "тип" в заголовке кадра. Модуль IP может направить IP-пакет либо модулю TCP, либо модулю UDP, что определяется полем "протокол" в заголовке пакета.

Получатель UDP-датаграммы или TCP-сообщения определяется на основании значения поля "порт" в заголовке датаграммы или сообщения.

Все указанные выше значения прописываются в заголовке сообщения модулями на отправляющем компьютере. Так как схема протоколов - это дерево, то к его корню ведет только один путь, при прохождении которого каждый модуль добавляет свои данные в заголовок блока. Машина, принявшая пакет, осуществляет демultipлексирование в соответствии с этими отметками.

Технология Internet поддерживает разные физические среды, из которых самой распространенной является Ethernet. В последнее время большой интерес вызывает подключение отдельных машин к сети через TCP-стек по коммутируемым (телефонным) каналам. С появлением новых магистральных технологий типа ATM или FrameRelay активно ведутся исследования по инкапсуляции TCP/IP в эти протоколы. На сегодняшний день многие проблемы решены и существует оборудование для организации TCP/IP сетей через эти системы.

Лекция №10, 11. Разновидности архитектуры сетей.

Вопросы:

1. Эволюция Ethernet.
2. Спецификация Fast Ethernet.

1. Эволюция Ethernet.

Ethernet, возникшая как сетевая технология с разделением среды передачи, а именно коаксиального кабеля, эволюционировала вместе с изменениями запросов пользователей. Соответствуя самым последним требованиям к кабельной проводке, стандарт Ethernet распространяется теперь на такие среды передачи данных, как оптическое волокно и неэкранированная витая пара. Побудительными мотивами перехода к этим средам стало быстрое и всепроникающее распространение локальных сетей в коммерческих, правительственных и другого рода организациях, а также потребность в эффективном и экономичном управлении и обслуживании данных сетей. Прежние же неструктурированные проводки из коаксиального кабеля не удовлетворяли этим требованиям.

Коммутация в Ethernet была разработана с целью расширения доступной для серверов и рабочих станций полосы пропускания. Появление недорогих коммутаторов для локальных сетей предопределило переход к разреженным и частным (выделенным) сетям с помощью микросегментации.

В начале 1960 ряд исследователей, многие из которых в дальнейшем участвовали в проекте ARPANET, видели громадный потенциал возможности компьютеров обмениваться данными друг с другом. Установленное в 1965 году соединение между компьютерами в Массачусеттском Институте Технологии и Университете Южной Калифорнии явилось эмбрионом Интернета.

Интернет был рожден в 1969 году, когда компьютеры четырех университетских центров США были соединены между собой. До середины 70-х, когда имя Интернет вошло в обиход, он носил имя ARPANET. По сравнению с традиционными телефонными сетями, основанными на коммутации каналов, технологии ARPANET использовали коммутацию пакетов - данных ограниченного объема, заключенных в "конверты" с указанием источника и получателя. Эта технология позволила существенно упростить архитектуру сети и повысить ее надежность.

Электронная почта (e-mail) и telnet (удаленный доступ в режиме терминала) появились в ARPANET в 1972, а ftp (обмен файлами) - годом позже. В то же десятилетие была разработана архитектура TCP/IP, которая была окончательно внедрена в начале 1980-х.

В 1986 году основой сети являлась национальная опорная сеть США - NSFNET с пропускной способностью в 56К. Основные приложения Сети - e-mail, ftp и telnet, стали стандартными на компьютерах того времени, что послужило существенному увеличению числа пользователей, особенно в университетах и научных центрах.

В то время как e-mail и ftp позволяли пользователям поддерживать деловые и социальные контакты и обмениваться информацией, а telnet - использовать удаленные вычислительные ресурсы, разрабатывалось все больше приложений, позволяющих каталогизировать и находить информацию в Сети. Сегодня мало кто помнит приложения Archie, WAIS или gopher, которые явились предтечей сегодняшнего вэба и поисковых машин.

1989 год ознаменовал рождение нового протокола, который стал основой системы WorldWideWeb- http. В поисках возможности объединения распределенных информационных ресурсов - в основном, документов, хранящихся на различных компьютерах, - Тим Бернерс-Ли (TimBerners-Lee), в то время сотрудник CERN, предложил идею гиперлинков, через которые пользователь может переходить с одного документа на другой, находящийся, возможно, на другом компьютере и на другом континенте.

До начала 90-х Интернет в США в основном финансировался государством и его использование было доступно только для научно-образовательных учреждений. Подобная ситуация была и в Европе. С начала 90-х начинается коммерциализация Интернета и появляется все больше услуг, предлагаемых обычным пользователям. Соответственно, растет и число пользователей Интернета.

Де-регулирование и приватизация рынка телекоммуникаций в конце 1990-х, появление и широкое распространение персональных компьютеров и скоростных модемов

открыло невиданные горизонты для развития Интернета. Рост пропускной способности стимулировал создание новых форм информационного контента, который в свою очередь требовал больших скоростей. Эта спираль инновации продолжается и сегодня, подстегнутая стремительным ростом мобильного Интернета и, как следствие, его размера и возможностей.

2. Спецификация FastEthernet.

Fast Ethernet — спецификация IEEE 802.3 и официально принятая 26 октября 1995 года определяет стандарт протокола канального уровня для сетей работающих при использовании как медного, так и волоконно-оптического кабеля со скоростью 100Мб/с. Новая спецификация является наследницей стандарта Ethernet IEEE 802.3, используя такой же формат кадра, механизм доступа к среде CSMA/CD и топологию звезда. Эволюция коснулась нескольких элементов конфигурации средств физического уровня, что позволило увеличить пропускную способность, включая типы применяемого кабеля, длину сегментов и количество концентраторов.

FastEthernet (Быстрый Ethernet) – высокоскоростная технология, предложенная фирмой 3Com для реализации сети Ethernet со скоростью передачи данных 100 Мбит/с, сохранившая в максимальной степени особенности 10-мегабитного Ethernet (Ethernet-10) и реализованная в виде стандарта 802.3u.

Основной целью при разработке технологии FastEthernet было обеспечение преемственности по отношению к 10-мегабитному Ethernet за счёт сохранения формата кадров и метода доступа CSMA/CD, что позволяет использовать прежнее программное обеспечение и средства управления сетями Ethernet. Одним из требований было также использование кабельной системы на основе витой пары категории 3, получившей на момент появления FastEthernet широкое распространение в сетях Ethernet-10. В связи с этим все отличия FastEthernet от Ethernet-10 сосредоточены на физическом уровне.

В FastEthernetпредусмотрены 3 варианта кабельных систем:

- многомодовый ВОК (используется 2 волокна);
- витая пара категории 5 (используется 2 пары);
- витая пара категории 3 (используется 4 пары).

Структура сети – иерархическая древовидная, построенная на концентраторах (как 10Base-T и 10Base-F), поскольку не предусматривалось использование коаксиального кабеля.

Диаметр сети Fast Ethernet, как показано в п.3.2.5, составляет немногим более 200 метров, что объясняется уменьшением времени передачи кадра минимальной длины в 10 раз в результате увеличения пропускной способности канала в 10 раз по сравнению с Ethernet-10. Тем не менее, возможно построение крупных сетей на основе технологии Fast Ethernet, благодаря появлению в начале 90-х годов прошлого века коммутаторов. При использовании коммутаторов протокол Fast Ethernet может работать в полнодуплексном режиме, в котором нет ограничений на общую длину сети, а остаются только ограничения на длину физических сегментов, соединяющих соседние устройства (адаптер – коммутатор или коммутатор – коммутатор).

Стандарт IEEE 802.3u определяет 3 спецификации физического уровня Fast Ethernet, несовместимых друг с другом:

- 100Base-TX – для передачи данных используются две неэкранированные пары UTP категории 5 или STP Type 1;
- 100Base-T4 – для передачи данных используются четыре неэкранированных пары UTP категорий 3, 4 или 5;
- 100Base-FX – для передачи данных используются два волокна многомодового ВОК.

Спецификации 100Base-TX и 100Base-FX.

Технологии 100Base-TX и 100Base-FX, несмотря на использование разных кабельных систем, имеют много общего с точки зрения построения и функционирования, в том числе, одинаковый метод логического кодирования – 4 В/5В при различных методах физического кодирования – MLT-3 в 100Base-TX и NRZI в 100Base-FX.

Кроме того, в технологии 100Base-TX имеется функция автопереговоров, обеспечивающая автоматическое определение скорости передачи (10 или 100 Мбит/с) между

двумя связанными устройствами (СА, концентратор, коммутатор) путем посылки при подключении пачки специальных импульсов FLP – Fast Link Pulse burst – со стороны устройства, которое может работать на скорости 100 Мбит/с. Если встречное устройство не откликается на эти импульсы, это означает, что оно может работать только на скорости 10 Мбит/с, и первое устройство устанавливает режим передачи данных 10 Мбит/с.

Спецификация 100Base-T4.

К моменту появления Fast Ethernet большинство ЛВС Ethernet в качестве кабельной системы использовали неэкранированную витую пару категории 3. Желание сохранить кабельную систему 10-мегабитных ЛВС Ethernet обусловило применение специального метода логического кодирования – 8 В/6Т, обеспечившего более узкий спектр сигнала, что при скорости 33 Мбит/с позволило уложиться в полосу 16 МГц витой пары категории 3.

При кодировании 8В/6Т 8 бит заменяются 6-ю троичными цифрами. Длительность одной троичной цифры – 40 нс. Следовательно, один байт передается за 240 нс (6*40 нс), что соответствует скорости передачи в 33,3 Мбит/с. Для передачи данных используется 3 пары УТР категории 3 (3*33,3 Мбит/с = 100 Мбит/с), и еще одна пара используется для прослушивания несущей с целью обнаружения коллизий.

Скорость изменения сигнала на каждой паре составляет: $1/(40 \text{ нс}) = 25 \text{ Мбод}$, что позволяет использовать витую пару категории 3/

Чтобы лучше понять работу и разобраться во взаимодействии элементов Fast Ethernet обратимся к рисунку 29.

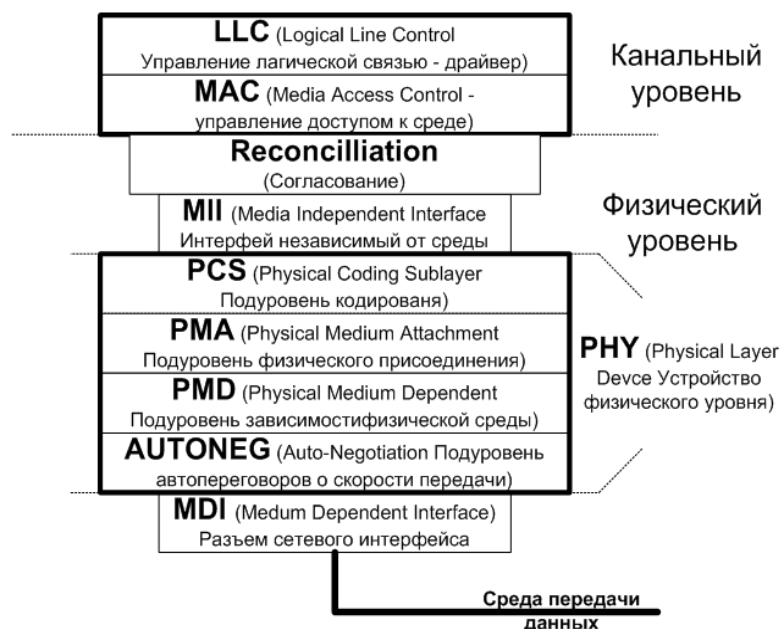


Рисунок 29. Система Fast Ethernet

В спецификации IEEE 802.3 и функции канального уровня разбиты на два подуровня: управления логической связью (LLC) и уровня доступа к среде (MAC), который будет рассмотрен ниже. LLC, функции которого определены стандартом IEEE 802.2, фактически обеспечивает взаимосвязь с протоколами более высокого уровня, (например, с IP или IPX), предоставляя различные коммуникационные услуги:

- **Сервис без установления соединения и подтверждений приема.** Простой сервис, который не обеспечивает управления потоком данных или контроля ошибок, а также не гарантирует правильную доставку данных.
- **Сервис с установлением соединения.** Абсолютно надежный сервис, который гарантирует правильную доставку данных за счет установления соединения с системой-приемником до начала передачи данных и использования механизмов контроля ошибок и управления потоком данных.

- **Сервис без установления соединения с подтверждениями приема.** Средний по сложности сервис, который использует сообщения подтверждения приема для обеспечения гарантированной доставки, но не устанавливает соединения до передачи данных.

На передающей системе данные, переданные вниз от протокола Сетевого уровня, вначале инкапсулируются подуровнем LLC. Стандарт называет их Protocol Data Unit (PDU, протокольный блок данных). Когда PDU передается вниз подуровню MAC, где снова обрамляется заголовком и постинформацией, с этого момента технически его можно назвать кадром. Для пакета Ethernet это означает, что кадр 802.3 помимо данных Сетевого уровня содержит трехбайтовый заголовок LLC. Таким образом, максимально допустимая длина данных в каждом пакете уменьшается с 1500 до 1497 байтов.

Заголовок LLC состоит из трех полей:

- **DSAP** (1 байт) *Destination Service Access Point* — точка доступа к сервису системы — получателя указывает, в каком месте буферов памяти системы-получателя следует разместить данные пакета.
- **SSAP** (1 байт) *Source Service Access Point* — точка доступа к сервису системы — источника выполняет такие же функции для источника данных, размещенных в пакете, на передающей системе.
- **Поле управления** (1 или 2 байта) указывает на тип сервиса, необходимого для данных в PDU и функций пакета. В зависимости от того, какой сервис нужно предоставить, поле управления может быть длиной 1 или 2 байта.

Принимающей системе необходимо определить, какой из протоколов Сетевого уровня должен получить входящие данные. В пакетах 802.3 в рамках PDU LLC применяется еще один протокол, называемый *Sub -Network Access Protocol (SNAP, протокол доступа к подсетям)*.

Заголовок SNAP имеет длину 5 байт и располагается непосредственно после заголовка LLC в поле данных кадра 802.3, как показано на рисунке. Заголовок содержит два поля.

Код организации. Идентификатор организации или производителя — это 3-байтовое поле, которое принимает такое же значение, как первые 3 байта MAC-адреса отправителя в заголовке 802.3.

Локальный код. Локальный код — это поле длиной 2 байта, которое функционально эквивалентно полю Ethertype в заголовке Ethernet II.

Подуровень согласования

Как было сказано ранее Fast Ethernet это эволюционировавший стандарт. MAC рассчитанный на интерфейс AUI, необходимо преобразовать для интерфейса MII, используемого в Fast Ethernet, для чего и предназначен этот подуровень.

Управление доступом к среде (MAC)

Каждый узел в сети Fast Ethernet имеет контроллер доступа к среде (**Media AccessController** — MAC). MAC имеет ключевое значение в Fast Ethernet и имеет три назначения:

- определяет, когда узел может передать пакет;
- пересылает кадры уровню PHY для преобразования в пакеты и передачи в среду;
- получает кадры из уровня PHY и передает обрабатывающему их программному обеспечению (протоколам и приложениям).*

Самым важным из трех назначений MAC является первое. Для любой сетевой технологии, которая использует общую среду, правила доступа к среде, определяющие, когда узел может передавать, являются ее основной характеристикой. Разработкой правил доступа к среде занимаются несколько комитетов IEEE. Комитет 802.3, часто именуемый комитетом Ethernet, определяет стандарты на ЛВС, в которых используются правила под названием **CSMA/ CD** (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection — множественный доступ с контролем несущей и обнаружением конфликтов).

CSMA/ CD являются правилами доступа к среде как для Ethernet, так и для Fast Ethernet. Именно в этой области две технологии полностью совпадают.

Поскольку все узлы в Fast Ethernet совместно используют одну и ту же среду, передавать они могут лишь тогда, когда наступает их очередь. Определяют эту очередь правила CSMA/ CD.

1.1.1.1 CSMA/ CD

Контроллер MAC Fast Ethernet, прежде чем приступить к передаче, прослушивает несущую. Несущая существует лишь тогда, когда другой узел ведет передачу. Уровень РНУ определяет наличие несущей и генерирует сообщение для MAC. Наличие несущей говорит о том, что среда занята и слушающий узел (или узлы) должны уступить передающему.

Устройство физического уровня (РНУ)

Поскольку Fast Ethernet может использовать различный тип кабеля, то для каждой среды требуется уникальное предварительное преобразование сигнала. Преобразование также требуется для эффективной передачи данных: сделать передаваемый код устойчивым к помехам, возможным потерям, либо искажениям отдельных его элементов (бодов), для обеспечения эффективной синхронизации тактовых генераторов на передающей или приемной стороне.

1.1.1.2 Подуровень кодирования (PCS)

Кодирует/декодирует данные поступающие от/к уровня MAC с использованием алгоритмов 4B/5B или 8B/6T.

1.1.1.3 Подуровни физического присоединения и зависимости от физической среды (PMA и PMD)

Подуровни PMA и PMD осуществляют связь между подуровнем PSC и интерфейсом MDI, обеспечивая формирование в соответствии с методом физического кодирования: NRZI или MLT-3.

1.1.1.4 Подуровень автопереговоров (AUTONEG)

Подуровень автопереговоров позволяет двум взаимодействующим портам автоматически выбирать наиболее эффективный режим работы: дуплексный или полудуплексный 10 или 100 Мб/с.

Лекция №12, 13. Способы модуляции.

Вопросы:

1. Модуляция при передаче аналоговых сигналов.
2. Модуляция при передаче дискретных сигналов.

1. Модуляция при передаче аналоговых сигналов.

Передача данных осуществляется в виде физических сигналов различной природы (электрические, оптические, радиоволны) в зависимости от среды передачи. Для обеспечения качественной передачи используются различные способы преобразования данных, представляемых в виде непрерывных или дискретных первичных сигналов, в линейные физические сигналы (непрерывные или дискретные), передаваемые по линии связи.

Процесс преобразования непрерывных сигналов и их представление в виде физических сигналов для качественной передачи по каналам связи называется модуляцией.

Модуляция может осуществляться (рис.30):

- на основе непрерывного (аналогового) высокочастотного синусоидального сигнала, называемого несущей (аналоговая модуляция);
- на основе дискретного (цифрового) сигнала в виде импульсов (импульсная или цифровая модуляция).

Аналоговая модуляция - преобразование непрерывного низкочастотного сигнала $x(t)$ (рис.30,а) в непрерывный высокочастотный сигнал $y(t)$, называемый несущей и обладающий более высокими характеристиками в отношении дальности передачи и затухания. Аналоговая модуляция может быть реализована двумя способами:

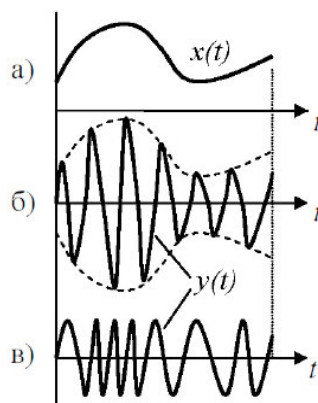


Рисунок 30. Аналоговая модуляция

1) амплитудная модуляция, при которой амплитуда высокочастотного сигнала $y(t)$ изменяется в соответствии с исходной функцией $x(t)$ так, как это показано на рис.30,б: огибающая амплитуды несущей повторяет форму исходной функции $x(t)$;

2) частотная модуляция (рис.30,в), при которой в соответствии с исходной функцией $x(t)$ изменяется частота несущей - чем больше значение $x(t)$, тем больше частота несущей $y(t)$

Аналоговая модуляция используется в радиовещании при работе множества радиостанций в одной общей среде передачи (радиозэфире): амплитудная модуляция для работы радиостанций в АМ-диапазоне (Amplitude Modulation) и частотная модуляция для работы радиостанций в FM — диапазоне (Frequency Modulation).

Использование цифровых каналов связи для передачи телефонных данных (речевого сигнала) в начале 60-х годов прошлого века потребовало разработки методов преобразования непрерывных сигналов в дискретные, таких как:

- 1) амплитудно-импульсная модуляция;
- 2) импульсно-кодовая модуляция.

Амплитудно-импульсная модуляция (АИМ) (Pulse Amplitude Modulation - PAM) заключается в преобразовании непрерывного сигнала в совокупность дискретных сигналов (импульсов) с определенной амплитудой. Для этого исходная непрерывная функция $x(t)$ подвергается дискретизации (квантуется) по времени так, как это показано на рис.31,а.

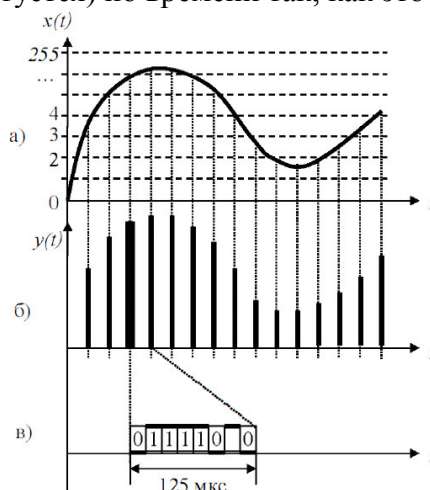


Рисунок 31. АИМ

Частота дискретизации по времени определяется в соответствии с теоремой Котельникова, которая гласит, что для восстановления без потерь непрерывного сигнала, представленного в дискретном виде, частота дискретизации должна удовлетворять условию: $f_{д} \geq 2f_{с}$, где $f_{с}$ - верхняя частота передаваемого сигнала $x(t)$. В полученные таким образом дискретные

моменты времени передаются импульсы $y(t)$, амплитуда которых пропорциональна значениям функции $x(t)$ в эти же моменты времени (рис.31,б).

Существенным недостатком АИМ при передаче оцифрованных данных по каналу связи является сложность корректного восстановления функции $x(t)$ на приёмном конце, что обусловлено непропорциональным изменением (затуханием) амплитуд разных импульсов $y(t)$ в процессе передачи по каналу связи. В связи с этим, более широкое распространение получил другой метод передачи непрерывных данных в дискретном виде - импульсно-кодовая модуляция.

Импульсно-кодовая модуляция (ИКМ) (Pulse Code Modulation - PCM) - метод модуляции, при котором аналоговый сигнал кодируется сериями импульсов, представляющими собой цифровые коды амплитуд в точках отсчета аналогового сигнала.

Для этого исходный сигнал подвергается дискретизации (квантуется) по двум координатам:

- по оси абсцисс - дискретизация по времени;
- по оси ординат - дискретизация по уровню.

Дискретизация по времени, как и в случае АИМ, выполняется в соответствии с теоремой Котельникова. Поскольку ИКМ первоначально разрабатывалась для передачи телефонных данных (голоса) по телефонным каналам, имеющим резко ограниченную полосу пропускания в интервале от 300 Гц до 3400 Гц, то в соответствии с теоремой Котельникова частота дискретизации должна быть больше, чем 6800 Гц. Стандартом была рекомендована частота дискретизации 8000 Гц. Таким образом, амплитуда аналогового сигнала измеряется 8000 раз в секунду, то есть каждые 125 мкс.

Для качественного восстановления аналогового сигнала (голоса) достаточно иметь 256 уровней дискретизации (рис.31,а), что позволяет передавать в каждый момент времени значение амплитуды (номер уровня) сигнала с помощью 8-разрядного цифрового кода (8 битов) (рис.31,в).

Таким образом, результирующий дискретный поток данных передается со скоростью $8000 [\text{раз в секунду}] * 8 [\text{бит}] = 64\,000 \text{ бит/с}$, то есть для передачи оцифрованного голоса требуется канал связи с пропускной способностью 64 кбит/с.

Для уменьшения требуемой для передачи оцифрованного голоса пропускной способности канала связи применяется модифицированный метод ИКМ - адаптивная дифференциальная импульсно-кодовая модуляция (АДИКМ).

Термин «дифференциальная (разностная)» означает, что по каналу связи передаётся не значение амплитуды, а разность между текущим значением непрерывного сигнала в точке квантования и предыдущим.

Поскольку скорость изменения исходного аналогового сигнала меньше частоты квантования, то вероятность большого различия между соседними амплитудами чрезвычайно мала, и для кодирования этой разности достаточно 4-х бит, позволяющих закодировать эту разность в интервале от 0 до 15. Тогда при условии, что частота квантования по времени составляет 8000 раз в секунду, получим скорость передачи $8000 * 4 = 32 \text{ кбит/с}$, что вдвое меньше стандартной скорости ИКМ.

Более сложным вариантом дифференциальной импульсно-кодовой модуляции является кодирование с предсказанием, при котором кодируется и передаётся разница между реальным и предсказанным на основе нескольких предыдущих отсчётов значением сигнала. Это позволяет ещё больше уменьшить количество битов для кодирования одного замера сигнала и, следовательно, уменьшить требование к пропускной способности канала связи. Адаптивность модуляции заключается в динамической подстройке шага квантования разницы по предыдущим значениям.

Аналоговая модуляция является таким способом физического кодирования, при котором информация кодируется изменением амплитуды, частоты или фазы синусоидального сигнала несущей частоты. Основные способы аналоговой модуляции показаны на рис. На диаграмме показана последовательность бит исходной информации, представленная потенциалами высокого уровня для логической единицы и потенциалом

нулевого уровня для логического нуля. Такой способ кодирования называется потенциальным кодом, который часто используется при передаче данных между блоками компьютера.

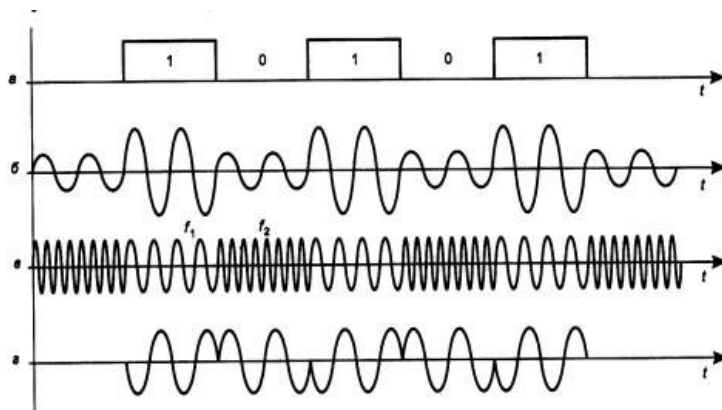


Рисунок 32. Различные типы модуляции (а - исходная информация, б- амплитудная модуляция, в - частотная модуляция, г - фазовая модуляция).

При **амплитудной модуляции** для логической единицы выбирается один уровень амплитуды синусоиды несущей частоты, а для логического нуля - другой. Этот способ редко используется в чистом виде на практике из-за низкой помехоустойчивости, но часто применяется в сочетании с другим видом модуляции - фазовой модуляцией.

При **частотной модуляции** значения 0 и 1 исходных данных передаются синусоидами с различной частотой - f_0 и f_1 . Этот способ модуляции не требует сложных схем в модемах и обычно применяется в низкоскоростных модемах, работающих на скоростях 300 или 1200 бит/с.

При **фазовой модуляции** значениям данных 0 и 1 соответствуют сигналы одинаковой частоты, но с различной фазой, например 0 и 180 градусов или 0,90,180 и 270 градусов. В скоростных модемах часто используются комбинированные методы модуляции, как правило, амплитудная в сочетании с фазовой.

2. Модуляция при передаче дискретных сигналов.

Процесс представления дискретных (цифровых) данных в виде непрерывного высокочастотного синусоидального сигнала (несущей) по своей сути является аналоговой модуляцией дискретных данных. Однако, для того чтобы его отличать от аналоговой модуляции непрерывных данных, такое преобразование часто называют манипуляцией.

Манипуляция применяется для передачи дискретных данных (сигналов) в виде непрерывных сигналов по каналам с узкой полосой частот, например по телефонным каналам, имеющим ограниченную полосу пропускания в 3100 Гц, и реализуется с помощью модемов.

Компьютерные данные – двоичные «1» и «0» – обычно изображаются в виде потенциалов соответственно высокого и низкого уровней (рис.33,а). Такой метод представления двоичных данных является наиболее естественным и простым и называется потенциальным кодированием.

Время, затрачиваемое на передачу одного бита («1» или «0»), называется битовым интервалом. Длительность t_b битового интервала связана с пропускной способностью канала связи C (скоростью передачи) зависимостью: $t_b \propto 1/C$.

При потенциальном кодировании скорость модуляции V численно совпадает с пропускной способностью канала: $V [\text{бод}] = C [\text{бит/с}]$.

Например, для канала связи с пропускной способностью $=10$ Мбит/с длительность битового интервала $= 100$ нс, а скорость модуляции $=10$ Мбод. Для передачи двоичных данных могут использоваться следующие методы манипуляции:

- амплитудная манипуляция (Amplitude Shift Keying, ASK): для представления «1» и «0» используются разные уровни амплитуды высокочастотной несущей (рис.33,б); из-за низкой помехоустойчивости этот метод обычно применяется в сочетании с другими методами, например с фазовой манипуляцией;
- частотная манипуляция (Frequency Shift Keying, FSK): значения «0» и «1» передаются синусоидами с различной частотой (рис.33,в); этот метод прост в реализации и обычно применяется в низкоскоростных модемах;
- фазовая манипуляция (Phase Shift Keying, PSK): значениям «0» и «1» соответствуют синусоиды одинаковой частоты и с одинаковой амплитудой, но с различной фазой, например 0 и 180 градусов (рис.33,г).

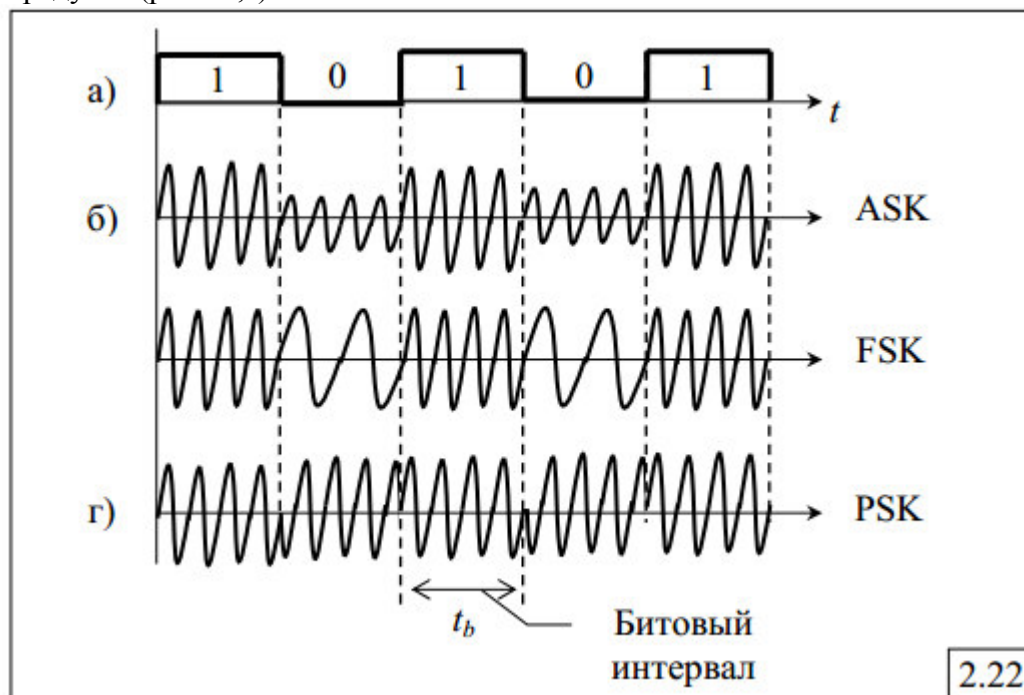


Рисунок 33. Дискретная модуляция

Дискретные способы модуляции основаны на дискретизации непрерывных процессов как по амплитуде, так и по времени. Рассмотрим принципы дискретной модуляции на примере *импульсно-кодовой модуляции, ИКМ (Pulse Amplitude Modulation, PAM)*, которая широко применяется в цифровой телефонии.

Амплитуда исходной непрерывной функции измеряется с заданным периодом - за счет этого происходит дискретизация по времени. Затем каждый замер представляется в виде двоичного числа определенной разрядности, что означает дискретизацию по значениям функции - непрерывное множество возможных значений амплитуды заменяется дискретным множеством ее значений. Устройство, которое выполняет подобную функцию, называется *аналого-цифровым преобразователем (АЦП)*. После этого замеры передаются по каналам связи в виде последовательности единиц и нулей. При этом применяются те же методы кодирования, что и в случае передачи изначально дискретной информации, то есть, например, методы, основанные на коде B8ZS или 2B 1Q.

На приемной стороне линии коды преобразуются в исходную последовательность бит, а специальная аппаратура, называемая *цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП)*, производит демодуляцию оцифрованных амплитуд непрерывного сигнала, восстанавливая исходную непрерывную функцию времени.

Дискретная модуляция основана на *теории отображения Найквиста - Котельникова*. В соответствии с этой теорией, аналоговая непрерывная функция, переданная в виде последовательности ее дискретных по времени значений, может быть точно восстановлена, если частота дискретизации была в два или более раз выше, чем частота самой высокой гармоники спектра исходной функции.

Если это условие не соблюдается, то восстановленная функция будет существенно отличаться от исходной.

Преимуществом цифровых методов записи, воспроизведения и передачи аналоговой информации является возможность контроля достоверности считанных с носителя или полученных по линии связи данных. Для этого можно применять те же методы, которые применяются для компьютерных данных (и рассматриваются более подробно далее), - вычисление контрольной суммы, повторная передача искаженных кадров, применение самокорректирующихся кодов.

На практике обычно используются комбинированные методы модуляции, обеспечивающие более высокие скорости передачи и лучшую помехозащищенность. Например, метод квадратурной амплитудной модуляции (Quadrature Amplitude Modulation, QAM) основан на сочетании фазовой модуляции с 8 значениями величин сдвига фазы и амплитудной модуляции с 4 уровнями амплитуды. Распознавание ошибок при передаче осуществляется за счёт избыточности кодирования, заключающейся в использовании не всех 32-х возможных комбинаций сигнала.

Лекция №14. Высокоскоростные магистрали.

Вопросы:

1. Технология FDDI.
2. Технология ATM.

1. Технология FDDI.

Технология FDDI во многом основывается на технологии TokenRing, развивая и совершенствуя ее основные идеи. Разработчики технологии FDDI ставили перед собой в качестве наиболее приоритетных следующие цели:

- Повысить битовую скорость передачи данных до 100 Мб/с;
- Повысить отказоустойчивость сети за счет стандартных процедур восстановления ее после отказов различного рода - повреждения кабеля, некорректной работы узла, концентратора, возникновения высокого уровня помех на линии и т.п.;
- Максимально эффективно использовать потенциальную пропускную способность сети как для асинхронного, так и для синхронного трафика.

Сеть FDDI строится на основе двух оптоволоконных колец, которые образуют основной и резервный пути передачи данных между узлами сети. Использование двух колец - это основной способ повышения отказоустойчивости в сети FDDI, и узлы, которые хотят им воспользоваться, должны быть подключены к обоим кольцам. В нормальном режиме работы сети данные проходят через все узлы и все участки кабеля первичного (Primary) кольца, поэтому этот режим назван режимом Thru - "сквозным" или "транзитным". Вторичное кольцо (Secondary) в этом режиме не используется.

В случае какого-либо вида отказа, когда часть первичного кольца не может передавать данные (например, обрыв кабеля или отказ узла), первичное кольцо объединяется со вторичным (рисунок 34), образуя вновь единое кольцо. Этот режим работы сети называется Wrap, то есть "свертывание" или "сворачивание" колец. Операция свертывания производится силами концентраторов и/или сетевых адаптеров FDDI. Для упрощения этой процедуры данные по первичному кольцу всегда передаются против часовой стрелки, а по вторичному - по часовой. Поэтому при образовании общего кольца из двух колец передатчики станций по-прежнему остаются подключенными к приемникам соседних станций, что позволяет правильно передавать и принимать информацию соседними станциями.

В стандартах FDDI отводится много внимания различным процедурам, которые позволяют определить наличие отказа в сети, а затем произвести необходимую реконфигурацию. Сеть FDDI может полностью восстанавливать свою работоспособность в случае единичных отказов ее элементов. При множественных отказах сеть распадается на несколько не связанных сетей.

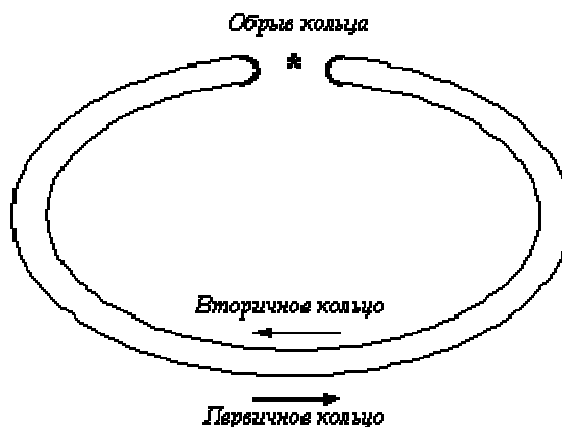


Рис. 34. Реконфигурация колец FDDI при отказе

Кольца в сетях FDDI рассматриваются как общая разделяемая среда передачи данных, поэтому для нее определен специальный метод доступа. Этот метод очень близок к методу доступа сетей TokenRing и также называется методом маркерного (или токенового) кольца - tokenring (рисунок 35, а).

Станция может начать передачу своих собственных кадров данных только в том случае, если она получила от предыдущей станции специальный кадр - токен доступа (рисунок 35, б). После этого она может передавать свои кадры, если они у нее имеются, в течение времени, называемого временем удержания токена - TokenHoldingTime (ТНТ). После истечения времени ТНТ станция обязана завершить передачу своего очередного кадра и передать токен доступа следующей станции. Если же в момент принятия токена у станции нет кадров для передачи по сети, то она немедленно транслирует токен следующей станции. В сети FDDI у каждой станции есть предшествующий сосед (upstreamneighbor) и последующий сосед (downstreamneighbor), определяемые ее физическими связями и направлением передачи информации.

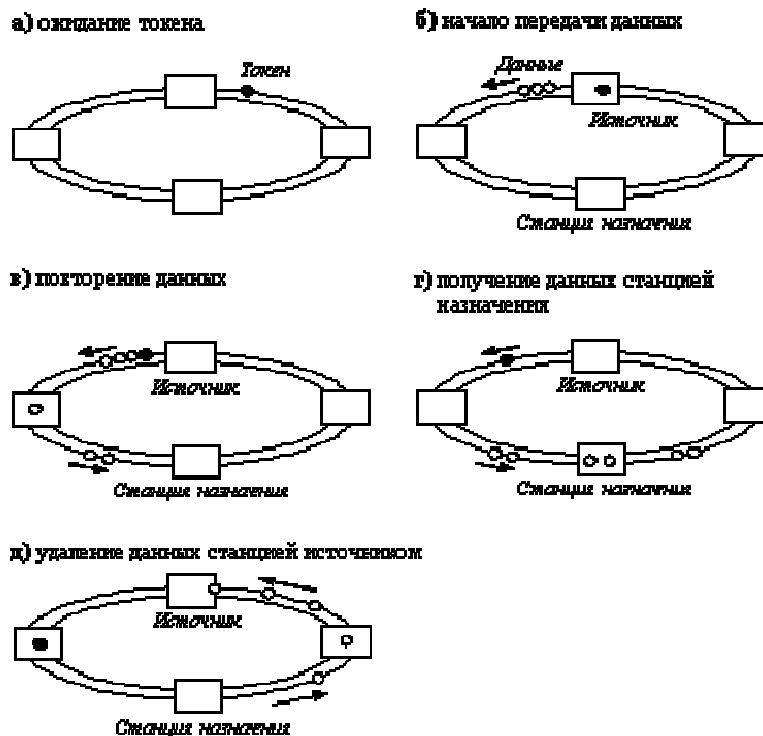


Рисунок 35. Обработка кадров станциями кольца FDDI

Каждая станция в сети постоянно принимает передаваемые ей предшествующим соседом кадры и анализирует их адрес назначения. Если адрес назначения не совпадает с ее собственным, то она транслирует кадр своему последующему соседу. Этот случай приведен на рисунке (рисунок 35, в). Нужно отметить, что, если станция захватила токен и передает свои собственные кадры, то на протяжении этого периода времени она не транслирует приходящие кадры, а удаляет их из сети.

Если же адрес кадра совпадает с адресом станции, то она копирует кадр в свой внутренний буфер, проверяет его корректность (в основном по контрольной сумме), передает его поле данных для последующей обработки протоколу лежащего выше над FDDI уровня (например, IP), а затем передает исходный кадр по сети последующей станции (рисунок 35, г). В передаваемом в сеть кадре станция назначения отмечает три признака: распознавания адреса, копирования кадра и отсутствия или наличия в нем ошибок.

После этого кадр продолжает путешествовать по сети, транслируясь каждым узлом. Станция, являющаяся источником кадра для сети, ответственна за то, чтобы удалить кадр из сети, после того, как он, совершив полный оборот, вновь дойдет до нее (рисунок 35, д). При этом исходная станция проверяет признаки кадра, дошел ли он до станции назначения и не был ли при этом поврежден. Процесс восстановления информационных кадров не входит в обязанности протокола FDDI, этим должны заниматься протоколы более высоких уровней.

На рисунке 36 приведена структура протоколов технологии FDDI в сравнении с семиуровневой моделью OSI. FDDI определяет протокол физического уровня и протокол подуровня доступа к среде (MAC) канального уровня. Как и многие другие технологии локальных сетей, технология FDDI использует протокол 802.2 подуровня управления каналом данных (LLC), определенный в стандартах IEEE 802.2 и ISO 8802.2. FDDI использует первый тип процедур LLC, при котором узлы работают в дейтаграммном режиме - без установления соединений и без восстановления потерянных или поврежденных кадров.

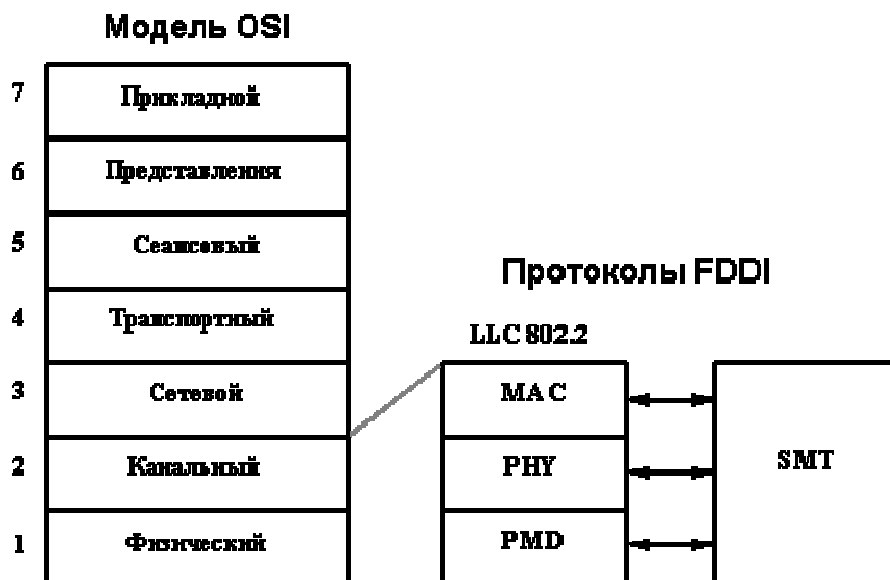


Рисунок 36. Структура протоколов технологии FDDI

Физический уровень разделен на два подуровня: независимый от среды подуровень PHY (Physical), и зависящий от среды подуровень PMD (PhysicalMediaDependent). Работу всех уровней контролирует протокол управления станцией SMT (StationManagement).

Уровень PMD обеспечивает необходимые средства для передачи данных от одной станции к другой по оптоволокну. В его спецификации определяются:

- Требования к мощности оптических сигналов и к многомодовому оптоволоконному кабелю 62.5/125 мкм;
- Требования к оптическим обходным переключателям (opticalbypassswitches) и оптическим приемопередатчикам;
- Параметры оптических разъемов MIC (MediaInterfaceConnector), их маркировка;
- Длина волны в 1300 нанометров, на которой работают приемопередатчики;
- Представление сигналов в оптических волокнах в соответствии с методом NRZI.

Спецификация TP-PMD определяет возможность передачи данных между станциями по витой паре в соответствии с методом MLT-3. Спецификации уровней PMD и TP-PMD уже были рассмотрены в разделах, посвященных технологии FastEthernet.

Уровень PHY выполняет кодирование и декодирование данных, циркулирующих между MAC-уровнем и уровнем PMD, а также обеспечивает тактирование информационных сигналов. В его спецификации определяются:

- кодирование информации в соответствии со схемой 4B/5B;
- правила тактирования сигналов;
- требования к стабильности тактовой частоты 125 МГц;
- правила преобразования информации из параллельной формы в последовательную.

Уровень MAC ответственен за управление доступом к сети, а также за прием и обработку кадров данных. В нем определены следующие параметры:

- Протокол передачи токена;
- Правила захвата и ретрансляции токена;
- Формирование кадра;
- Правила генерации и распознавания адресов;
- Правила вычисления и проверки 32-разрядной контрольной суммы.

Уровень SMT выполняет все функции по управлению и мониторингу всех остальных уровней стека протоколов FDDI. В управлении кольцом принимает участие каждый узел сети FDDI. Поэтому все узлы обмениваются специальными кадрами SMT для управления сетью. В спецификации SMT определено следующее:

- Алгоритмы обнаружения ошибок и восстановления после сбоев;
- Правила мониторинга работы кольца и станций;

- Управление кольцом;
- Процедуры инициализации кольца.

Отказоустойчивость сетей FDDI обеспечивается за счет управления уровнем SMT другими уровнями: с помощью уровня RNY устраняются отказы сети по физическим причинам, например, из-за обрыва кабеля, а с помощью уровня MAC - логические отказы сети, например, потеря нужного внутреннего пути передачи токена и кадров данных между портами концентратора.

Есть два основных способа подключения компьютеров к сети FDDI: непосредственно, а также через мосты или маршрутизаторы к сетям других протоколов.

Непосредственное подключение.

Этот способ используется, как правило, для подключения к сети FDDI файловых, архивационных и других серверов, средних и больших ЭВМ, то есть ключевых сетевых компонентов, являющихся главными вычислительными центрами, предоставляющими сервис для многих пользователей и требующих высоких скоростей ввода-вывода по сети.

Аналогично можно подключить и рабочие станции. Однако, поскольку сетевые адаптеры для FDDI весьма дороги, этот способ применяется только в тех случаях, когда высокая скорость обмена по сети является обязательным условием для нормальной работы приложения. Примеры таких приложений: системы мультимедиа, передача видео и звуковой информации.

Для подключения к сети FDDI персональных компьютеров применяются специализированные сетевые адаптеры, которые обычным образом вставляются в один из свободных слотов компьютера. Такие адаптеры производятся фирмами: 3Com, IBM, Microdyne, Network Peripherals, SysKonnnect и др. На рынке имеются карты под все распространенные шины - ISA, EISA и Micro Channel; есть адаптеры для подключения станций классов А или В для всех видов кабельной системы - волоконно-оптической, экранированной и неэкранированной витых пар.

Все ведущие производители UNIX машин (DEC, Hewlett-Packard, IBM, Sun Microsystems и другие) предусматривают интерфейсы для непосредственного подключения к сетям FDDI.

Подключение через мосты и маршрутизаторы.

Мосты (bridges) и маршрутизаторы (routers) позволяют подключить к FDDI сети других протоколов, например, Token Ring и Ethernet. Это делает возможным экономичное подключение к FDDI большого числа рабочих станций и другого сетевого оборудования как в новых, так и в уже существующих ЛВС.

Конструктивно мосты и маршрутизаторы изготавливаются в двух вариантах - в законченном виде, не допускающем дальнейшего аппаратного наращивания или переконфигурации (так называемые standalone-устройства), и в виде модульных концентраторов.

Примером standalone-устройств являются: Router BR фирмы Hewlett-Packard и EIFO Client/Server Switching Hub фирмы Network Peripherals.

Модульные концентраторы применяются в сложных больших сетях в качестве центральных сетевых устройств. Концентратор представляет собой корпус с источником питания и с коммуникационной платой. В слоты концентратора вставляются сетевые коммуникационные модули. Модульная конструкция концентраторов позволяет легко собрать любую конфигурацию ЛВС, объединить кабельные системы различных типов и протоколов. Оставшиеся свободными слоты можно использовать для дальнейшего наращивания ЛВС.

Концентраторы производятся многими фирмами: 3Com, Cabletron, Chipcom, Cisco, Gandalf, Lannet, Proteon, SMC, SynOptics, Wellfleet и другими.

Концентратор — это центральный узел ЛВС. Его отказ может привести к остановке всей сети, или, по крайней мере, значительной её части. Поэтому большинство фирм, производящих концентраторы, принимают специальные меры для повышения их отказоустойчивости. Такими мерами являются резервирование источников питания в режиме

разделения нагрузки или горячего резервирования, а также возможность смены или доустановки модулей без отключения питания (hot swap).

Для того чтобы снизить стоимость концентратора, все его модули запитываются от общего источника питания. Силовые элементы источника питания являются наиболее вероятной причиной его отказа. Поэтому резервирование источника питания существенно продлевает срок безотказной работы. При инсталляции каждый из источников питания концентратора может быть подключен к отдельному источнику бесперебойного питания (UPS) на случай неисправностей в системе электроснабжения. Каждый из UPS желательно подключить к отдельным силовым электрическим сетям от разных подстанций.

Возможность смены или доустановки модулей (часто включая и источники питания) без отключения концентратора позволяет провести ремонт или расширение сети без прекращения сервиса для тех пользователей, сетевые сегменты которых подключены к другим модулям концентратора.

В следующей таблице представлены результаты сравнения технологии FDDI с технологиями Ethernet и TokenRing.

Характеристика	FDDI	EthernetTokenRing
Битовая скорость	100 Мб/с	10 Мб/с16 Мб/с
Топология	Двойное кольцо деревьев	Шина/звездаЗвезда/кольцо
Метод доступа	Доля от времени оборота токена	CSMA/CDПриоритетная система резервирования
Среда передачи данных	Многомодовое оптоволокно, неэкранированная витая пара	Толстый коаксиал, тонкий коаксиал, витая пара, оптоволокноЭкранированная и неэкранированная витая пара, оптоволокно
Максимальная длина сети (без мостов)	200 км (100 км на кольцо)	2500 м1000 м
Максимальное расстояние между узлами	2 км (-11 dB потерь между узлами)	2500 м100 м
Максимальное количество узлов	500 (1000 соединений)	1024260 для экранированной витой пары, 72 для неэкранированной витой пары
Тактирование и восстановление после отказов	Распределенная реализация тактирования и восстановления после отказов	Не определены Активный монитор

2. Технология ATM.

Технология ATM является наиболее перспективным решением задачи переноса разнородной информации в широкополосных цифровых сетях с интеграцией служб. Это - специфический, подобный пакетному, метод переноса информации, использующий принцип асинхронного временного мультиплексирования.

Метод ATM является ориентированным на соединения: любой передаче информации предшествует организация виртуального соединения (коммутируемого или постоянного) между отправителем и получателем данных, что впоследствии упрощает процедуры маршрутизации. Данные перед их передачей по каналам связи делятся на участки длиной 48

байт. К ним добавляется заголовок (5 байт). Образуются ячейки, которые передаются с использованием виртуальных каналов, т.е. имеющих идентификатор логических каналов, организуемых между двумя устройствами для установления связи. В одном физическом канале связи, как правило, передаются совместно ячейки, принадлежащие множеству различных виртуальных каналов. Ячейки, поступающие от различных комплектов оконечного оборудования данных, объединяются в канале связи, образуя групповой сигнал, и коммутируются в узлах сети.

По сравнению с коммутацией пакетов, где пакеты могут иметь различные размеры с различными расстояниями между ними, ячейки АТМ имеют строго фиксированную длину, кратную байту, и следуют друг за другом без перерывов. Это облегчает процедуры обработки сигнала, что позволяет повысить скорость передачи информации и предоставляет возможности широкополосной связи. В отличие от коммутации каналов с временным уплотнением ячейки предоставляются пользователям только на время передачи информации. При отсутствии необходимости передачи информации пользователь не занимает ресурсы сети связи, что повышает эффективность их использования. Отсюда происходит название метода: термин “асинхронный” означает, что ячейки, принадлежащие одному соединению, поступают в канал связи нерегулярно, и временные интервалы предоставляются источнику сообщений в соответствии с его реальными потребностями.

Небольшая длина ячейки позволяет легко перемежать ячейки, используемые для различных приложений, таких как передача данных, речи и видеоизображений. Высокая скорость дает возможность передавать информацию в реальном масштабе времени.

Контрольные функции, такие как распознавание типа сообщения, подтверждение факта получения сообщения принимающим терминалом, выявление ошибок при передаче информации, управление повторной передачей и т.д. с целью упрощения процедур обработки ячеек промежуточными узлами связи переданы протоколам верхних уровней.

Общая композиция протоколов включает физический уровень, уровень АТМ, уровень адаптации (AAL - ATMAdaptationLayer), который зависит от вида предоставляемой услуги, и верхние уровни.

Физический уровень соответствует традиционному первому уровню эталонной модели взаимодействия открытых систем и регламентирует физическую среду переноса информации. Кроме того он обеспечивает функции идентификации границ ячеек, обнаружения и исправления ошибок в заголовках.

Уровень АТМ служит для мультиплексирования/ демultipлексирования ячеек, генерации заголовков ячеек, выделения информационного поля и прозрачный его перенос. Никакая обработка информационного поля (например, контроль на наличие ошибок) уровнем АТМ не выполняется. Граница между уровнем АТМ и уровнем адаптации соответствует границе между функциями, относящимися к заголовку, и функциями, относящимися к информационному полю.

Уровень AAL поддерживает функции протоколов верхних уровней, обеспечивает адаптацию с ними функций передачи уровня АТМ, а также соединения между АТМ и не-АТМ интерфейсами. Примерами функций данного уровня являются обнаружение информационных блоков, поступающих с верхнего уровня, их сегментация на передающем конце и преобразование исходного цифрового сигнала в ячейки АТМ, восстановление исходной информации из ячеек АТМ на приемном конце, направление информационных блоков к верхнему уровню, компенсация переменной величины задержки в сети АТМ для звуковых сигналов, обработка частично заполненных ячеек, действия при потере ячеек и т.д. Любая специфическая информация уровня адаптации (например, длина поля данных, отметки времени, порядковый номер), которая должна быть передана между взаимодействующими уровнями адаптации, содержится в информационном поле ячейки АТМ.

Телекоммуникационная сеть, использующая технологию АТМ, состоит из набора коммутаторов, связанных между собой. Коммутаторы АТМ поддерживают два вида интерфейсов: интерфейс “пользователь - сеть” (UNI - user-networkinterface) и интерфейс

“сеть - узел сети” (NNI - network-networkinterface). UNI соединяет оконечные системы АТМ (рабочие станции, маршрутизаторы и др.) с коммутатором АТМ, тогда как NNI может быть определен как интерфейс, соединяющий два коммутатора АТМ.

В таблице показан формат ячейки АТМ в соответствии со стандартом UNI.

VCIL	Control	HCS	AL	ДАННЫЕ
Заголовок 5 байт			Поле данных 48 байт	
VCIL - идентификатор постоянного виртуального канала (3 байта). Control - поле управления (1 байт). HCS - поле контрольной суммы (1 байт). AL - поле адаптационного уровня АТМ (4 байта).				

Как видно из таблицы, ячейка имеет размер 53 октета и включает заголовок длиной 5 октетов и информационное поле. Первые четыре двоичных символа заголовка выделены для поля общего управления потоком. Следующие 24 двоичных единицы используются для идентификации виртуального пути (ВП) и виртуального канала (ВК). Как отмечалось выше, сети АТМ являются ориентированными на соединение, и требуемая виртуальная цепь должна быть проложена через сеть АТМ прежде, чем какие-либо данные будут переданы. Для организации этой цепи технология АТМ предусматривает использование виртуальных каналов. Несколько ВК составляют виртуальный путь /14/. Все идентификаторы виртуальных путей и виртуальных каналов (ИВП и ИВК) имеют только местное значение в пределах отдельной линии и принимают новые значения в каждом коммутаторе сети АТМ. Ряд ИВК резервируется для трафика сигнализации и различных целей управления.

Три двоичных символа четвертого октета используются для идентификации типа сообщения, передаваемого в информационном поле ячейки (данные пользователя или служебная информация управления, контроля и обеспечения). Данное поле “тип полезной нагрузки” также может использоваться для информирования о перегрузке в сети.

В пятом октете заголовка содержится проверочная последовательность заголовка. Ячейка уничтожается, если в ее заголовке обнаруживается ошибка. Кроме того с помощью этого поля выполняется синхронизация ячеек АТМ. При отсутствии синхронизма по принятым четырем байтам вычисляется проверочный байт. Процедура повторяется до тех пор пока найденный таким образом проверочный байт не совпадет с принятым пятым байтом, после чего наличие синхронизации проверяется каждые 53 байта. Для поддержания синхронизации ячейки передаются постоянно, даже если нет информации для передачи. В этом случае посылаются пустые ячейки.

Формат ячейки, определенный для интерфейса NNI, немного отличается от рассмотренного. NNI-ячейки в отличие от ячеек UNI не содержат поля управления общим потоком, и четыре первых бита каждой ячейки используются расширенным полем идентификатора виртуального пути (12 бит). Поскольку поле управления общим потоком используется редко, но существует (его использование не определено, например, в решениях по UNI консорциума Форум АТМ), на практике функционального различия между ячейками UNI и NNI нет, кроме разве того, что ячейка последнего может поддерживать большее пространство идентификаторов ВП.

Сеть АТМ строится на основе соединенных друг с другом АТМ-коммутаторов. Технология реализуется как в локальных, так и в глобальных сетях. Допускается совместная передача различных видов информации, включая видео, голос.

Ячейки данных, используемые в АТМ, меньше в сравнении с элементами данных, которые используются в других технологиях. Небольшой, постоянный размер ячейки, используемый в АТМ, позволяет:

- Совместно передавать данные с различными классами требований к задержкам в сети, причём по каналам как с высокой, так и с низкой пропускной способностью;
- Работать с постоянными и переменными потоками данных;

- Интегрировать на одном канале любые виды информации: данные, голос, потоковое аудио- и видеовещание, телеметрия и т. п.;
- Поддерживать соединения типа точка–точка, точка–многоточка и многоточка–многоточка.

Технология ATM предполагает межсетевое взаимодействие на трёх уровнях.

Для передачи данных от отправителя к получателю в сети ATM создаются *виртуальные каналы*, VC (англ. *Virtual Circuit*), которые бывают трёх видов:

- *постоянный виртуальный канал*, PVC (Permanent Virtual Circuit), который создаётся между двумя точками и существует в течение длительного времени, даже в отсутствие данных для передачи;
- *коммутируемый виртуальный канал*, SVC (Switched Virtual Circuit), который создаётся между двумя точками непосредственно перед передачей данных и разрывается после окончания сеанса связи.
- *автоматически настраиваемый постоянный виртуальный канал*, SPVC (Soft Permanent Virtual Circuit). Каналы SPVC по сути представляют собой каналы PVC, которые инициализируются по требованию в коммутаторах ATM. С точки зрения каждого участника соединения, SPVC выглядит как обычный PVC, а что касается коммутаторов ATM в инфраструктуре провайдера, то для них каналы SPVC имеют значительные отличия от PVC. Канал PVC создаётся путём статического определения конфигурации в рамках всей инфраструктуры провайдера и всегда находится в состоянии готовности. Но в канале SPVC соединение является статическим только от конечной точки (устройство DTE) до первого коммутатора ATM (устройство DCE). А на участке от устройства DCE отправителя до устройства DCE получателя в пределах инфраструктуры провайдера соединение может формироваться, разрываться и снова устанавливаться по требованию. Установленное соединение продолжает оставаться статическим до тех пор, пока нарушение работы одного из звеньев канала не вызовет прекращения функционирования этого виртуального канала в пределах инфраструктуры провайдера сети.

Для маршрутизации в пакетах используют так называемые идентификаторы пакета. Они бывают двух видов:

- **VPI** (англ. *virtualpathidentifier*) — идентификатор виртуального пути (номер канала)
- **VCI** (англ. *virtualcircuitidentifier*) — идентификатор виртуального канала (номер соединения)

Сеть ATM - это набор коммутаторов и оконечных систем (хостов, маршрутизаторов и т.д.) ATM, связанных между собой межточечными каналами связи (point-to-point links), либо интерфейсами UNI или NNI. Первый тип интерфейса (UNI) используется при соединении оконечных систем ATM, второй (NNI) - при соединении коммутаторов ATM.

Задачи коммутатора ATM по сути очень просты: при известном значении ИБК или ИВП получить некоторую ячейку по каналу связи, найти соответствующее соединение в местной таблице преобразования, чтобы тем самым определить выходной порт (или порты), а также новые ВК и ВП для такого соединения на данном канале связи, после чего данная ячейка вместе с соответствующими идентификаторами передается на выходной канал связи.

Каждой передаче данных предшествует настройка местных таблиц преобразования, осуществляемая извне. По способу настройки таких таблиц различают два основных типа ATM-соединения:

Постоянное виртуальное соединение (Permanent Virtual Connection, PVC). Соединение PVC устанавливается посредством какого-либо внешнего механизма, как правило, посредством административного управления сетью. При этом ряд коммутаторов между источником и приемником ATM программируется определенным значением ИБК и ИВП.

Коммутируемое виртуальное соединение (Switched Virtual Connection, SVC). Соединение SVC устанавливается автоматически, посредством сигнального протокола. Соединение SVC не требует ручного вмешательства, необходимого для настройки PVC, и, поэтому, оно получило более широкое распространение. Протоколы высокого уровня, действующие в сетях ATM, как правило, используют SVC.

Существуют, в зависимости от типа соединения (SVC или PVC), два основных варианта соединения ATM:

Межточечное соединение (point-to-point), при котором две оконечные ATM-системы соединяются между собой. Такое соединение может быть однонаправленным или двунаправленным.

Точечно-многоточечное соединение (point-to-multipoint), при котором одна передающая оконечная ATM-система (так называемый “корневой узел”) соединяется с несколькими принимающими оконечными системами (их называют “концевыми узлами”). Тиражирование ячеек в сети осуществляется посредством коммутаторов ATM, в которых соединение расходится на несколько ветвей. Такое соединение является однонаправленным и позволяет передавать информацию из корня на концевые узлы, в то время как концевые узлы, в рамках того же соединения, не могут передавать информацию корню или друг другу.

Необходимо отметить, что среди перечисленных вариантов ATM-соединений отсутствуют возможности широковещательной (broadcasting) или групповой (многоадресной) передачи (multicasting), характерные для многих ЛВС среднего уровня с общей средой передачи данных, таких как Ethernet и Token Ring. В сетях ATM аналогом групповой (многоадресной) передачи могло бы стать “многоточечно-многоточечное” соединение. Однако такое решение не реализуемо из-за того, что в наиболее распространенном 5 варианте уровня AAL (AAL5), который применяется для передачи данных в сетях ATM, не предусмотрено никаких средств для чередования ячеек из разных пакетов в одном соединении. Это значит, что все пакеты AAL5, посланные по определенному соединению и в определенном направлении, будут приняты последовательно, без чередования ячеек из различных пакетов, поскольку в противном случае приемник не сможет восстановить полученные пакеты.

Для решения задачи групповой (многоадресной) передачи в ATM возможны три способа:

Групповая (многоадресная) передача по виртуальному пути. При таком механизме, все узлы группы многоадресной передачи соединяются между собой по многоточечно-многоточечному виртуальному пути, причем каждому узлу назначается свое собственное, уникальное значение ИВК, в рамках данного ВП. Таким образом, пакеты могут быть распознаны по уникальному значению ИВК источника.

Сервер групповой (многоадресной) передачи. При таком механизме все узлы, передающие данные в группу многоадресной передачи, устанавливают межточечную связь с внешним устройством, которое называется сервером групповой (многоадресной) передачи. Посредством точечно-многоточечной связи такой сервер, с свою очередь, присоединен ко всем узлам, принимающим пакеты групповой (многоадресной) передачи. Сервер получает пакеты по межточечным соединениям, а затем передает их через точечно-многоточечное соединение, но только после того, как убедится, что пакеты организованы в последовательности (то есть следующий пакет пересылается только по окончании пересылки предыдущего). Таким образом, предотвращается смешивание ячеек.

Оверлейные точечно-многоточечные соединения. При таком механизме, каждый узел группы многоадресной передачи устанавливает точечно-многоточечное соединение со всеми узлами группы и, в свою очередь, становится концевым узлом в равнозначных соединениях всех остальных узлов. Следовательно, все узлы могут как передавать сигналы на все остальные узлы, так и принимать их со всех остальных узлов.

Лекция №15. Сетевые операционные системы.

Вопросы:

1. Структура сетевой ОС.
2. Сетевые ОС фирмы Microsoft.

1. Структура сетевой операционной системы

Сетевая операционная система составляет основу любой вычислительной сети. Каждый компьютер в сети в значительной степени автономен, поэтому под сетевой операционной системой в широком смысле понимается совокупность операционных систем отдельных компьютеров, взаимодействующих с целью обмена сообщениями и разделения ресурсов по единым правилам - протоколам. В узком смысле сетевая ОС - это операционная система отдельного компьютера, обеспечивающая ему возможность работать в сети.

К возможностям сетевых ОС относится поддержка следующего:

- сетевого оборудования;
- сетевых протоколов;
- протоколов маршрутизации;
- фильтрации сетевого трафика;
- доступа к удалённым ресурсам: принтерам, дискам посредством сети;
- сетевых протоколов авторизации.

Сетевая ОС также включает в себя сетевые службы, позволяющие удалённым пользователям использовать те или иные ресурсы компьютера.

Примеры сетевых операционных систем:

- [Novell NetWare](#)
- [LANtastic](#)
- [Microsoft Windows](#) (NT, XP, Vista, 7, 8, 8.1, 10)
- Различные [UNIX](#) системы, такие как [Solaris](#), [FreeBSD](#)
- Различные [GNU/Linux](#) системы

Главными задачами сетевых ОС являются разделение ресурсов сети (например, дисковые пространства) и администрирование сети. С помощью сетевых функций системный администратор определяет разделяемые ресурсы, задаёт пароли, определяет права доступа для каждого пользователя или группы пользователей. Отсюда деление:

- сетевые ОС для серверов;
- сетевые ОС для пользователей.

Существуют специальные сетевые ОС, которым приданы функции обычных систем (например, Windows NT) и обычные ОС (например, Windows XP), которым приданы сетевые функции. Сегодня практически все современные ОС имеют встроенные сетевые функции.

В сетевой операционной системе отдельной машины можно выделить несколько частей (рисунок 37):



Рисунок 37. Структура сетевой ОС

Средства управления локальными ресурсами компьютера: функции распределения оперативной памяти между процессами, планирования и диспетчеризации процессов, управления процессорами в мультипроцессорных машинах, управления периферийными устройствами и другие функции управления ресурсами локальных ОС.

Средства предоставления собственных ресурсов и услуг в общее пользование - серверная часть ОС (сервер). Эти средства обеспечивают, например, блокировку файлов и записей, что необходимо для их совместного использования; ведение справочников имен сетевых ресурсов; обработку запросов удаленного доступа к собственной файловой системе и базе данных; управление очередями запросов удаленных пользователей к своим периферийным устройствам.

Средства запроса доступа к удаленным ресурсам и услугам и их использования - клиентская часть ОС (редиректор). Эта часть выполняет распознавание и перенаправление в сеть запросов к удаленным ресурсам от приложений и пользователей, при этом запрос поступает от приложения в локальной форме, а передается в сеть в другой форме, соответствующей требованиям сервера. Клиентская часть также осуществляет прием ответов от серверов и преобразование их в локальный формат, так что для приложения выполнение локальных и удаленных запросов неразличимо.

Коммуникационные средства ОС, с помощью которых происходит обмен сообщениями в сети. Эта часть обеспечивает адресацию и буферизацию сообщений, выбор маршрута передачи сообщения по сети, надежность передачи и т.п., то есть является средством транспортировки сообщений.

В зависимости от функций, возлагаемых на конкретный компьютер, в его операционной системе может отсутствовать либо клиентская, либо серверная части.

На рисунке 38 показано взаимодействие сетевых компонентов. Здесь компьютер 1 выполняет роль "чистого" клиента, а компьютер 2 - роль "чистого" сервера, соответственно на первой машине отсутствует серверная часть, а на второй - клиентская. На рисунке отдельно показан компонент клиентской части - редиректор. Именно редиректор перехватывает все запросы, поступающие от приложений, и анализирует их. Если выдан запрос к ресурсу данного компьютера, то он переадресовывается соответствующей подсистеме локальной ОС, если же это запрос к удаленному ресурсу, то он переправляется в сеть. При этом клиентская часть преобразует запрос из локальной формы в сетевой формат и передает его транспортной подсистеме, которая отвечает за доставку сообщений указанному серверу. Серверная часть операционной системы компьютера 2 принимает запрос, преобразует его и передает для выполнения своей локальной ОС. После того, как результат получен, сервер обращается к транспортной подсистеме и направляет ответ клиенту, выдавшему запрос. Клиентская часть преобразует результат в соответствующий формат и адресует его тому приложению, которое выдало запрос.

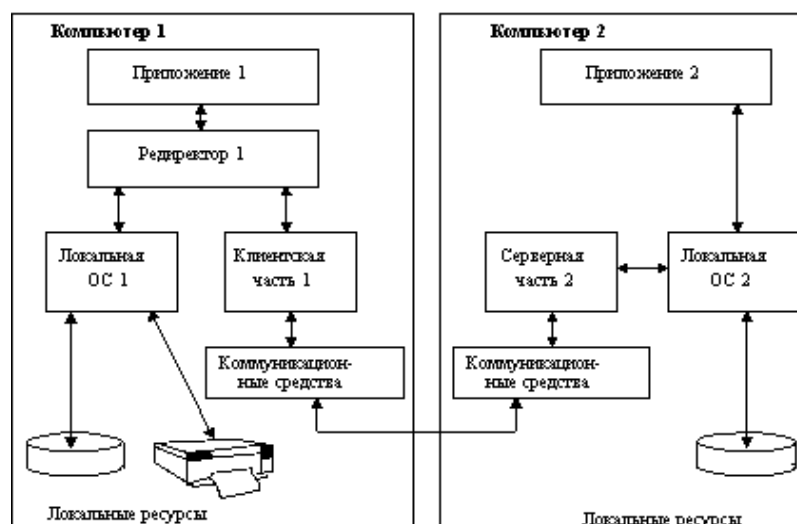


Рисунок 38. взаимодействие компонентов операционной системы при взаимодействии компьютеров

На практике сложилось несколько подходов к построению сетевых операционных систем (рисунок 39).

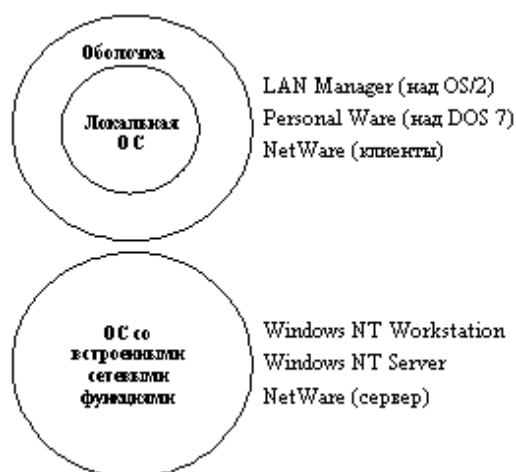


Рисунок 39. Варианты построения сетевых ОС

Первые сетевые ОС представляли собой совокупность существующей локальной ОС и надстроенной над ней сетевой оболочки. При этом в локальную ОС встраивался минимум сетевых функций, необходимых для работы сетевой оболочки, которая выполняла основные сетевые функции. Примером такого подхода является использование на каждой машине сети операционной системы MS DOS (у которой начиная с ее третьей версии появились такие встроенные функции, как блокировка файлов и записей, необходимые для совместного доступа к файлам). Принцип построения сетевых ОС в виде сетевой оболочки над локальной ОС используется и в современных ОС, таких, например, как LANtastic или Personal Ware.

Однако более эффективным представляется путь разработки операционных систем, изначально предназначенных для работы в сети. Сетевые функции у ОС такого типа глубоко встроены в основные модули системы, что обеспечивает их логическую стройность, простоту эксплуатации и модификации, а также высокую производительность. Примером такой ОС является система Windows NT фирмы Microsoft, которая за счет встроенности сетевых средств обеспечивает более высокие показатели производительности и защищенности информации по сравнению с сетевой ОС LAN Manager той же фирмы (совместная разработка с IBM), являющейся надстройкой над локальной операционной системой OS/2.

2. Сетевые ОС фирмы Microsoft.

В 1984 году Microsoft выпустила свой первый сетевой продукт, называемый Microsoft Networks, который обычно неформально называют MS-NET. Некоторые концепции, заложенные в MS-NET, такие как введение в структуру базовых компонент - редилятора и сетевого сервера - успешно перешли в LAN Manager, а затем и в Windows NT.

Microsoft все еще поставляет свою сетевую ОС LAN Manager. Большое количество независимых поставщиков имеют лицензии на эту ОС и поддерживают свои собственные версии LAN Manager как часть своих сетевых продуктов. В число этих компаний входят такие известные фирмы как AT&T и Hewlett-Packard. LAN Manager требует установки на файл-сервере операционной системы OS/2, рабочие станции могут работать под DOS, Windows или OS/2. OS/2 - это операционная система, реализующая истинную многозадачность, работающая в защищенном режиме микропроцессоров x86 и выше. LAN Manager использует 32-х битную версию файловой системы OS/2, называемую HPFS, которая оптимизирована для работы на файл-сервере за счет кэширования каталогов и данных. LAN Manager - это первая сетевая ОС, разработанная для поддержки среды клиент-сервер. Ключевыми компонентами LAN Manager являются редилятор и сервер. Особенно эффективно LAN Manager поддерживает архитектуру клиент-сервер для систем управления

базами данных. LAN Manager разрешает рабочим станциям под OS/2 поддерживать сетевой сервис по технологии "равный-с-равным". Это означает, что рабочая станция может выполнять функции сервера баз данных, принт-сервера или коммуникационного сервера. Ограничением является то, что только один пользователь, кроме владельца этой рабочей станции, имеет доступ к такому одноранговому сервису.

Для работы в небольшой сети фирма Microsoft предлагает компактную, не требующую значительных аппаратных или программных затрат операционную систему Windows for Workgroups. Эта операционная система позволяет организовать сеть по схеме "равный-с-равным", при этом нет необходимости приобретать специальный компьютер для работы в качестве сетевого сервера. Эта операционная система особенно подходит для решения сетевых задач в коллективах, члены которого ранее широко использовали Windows 3.1. В Windows for Workgroups достигнута высокая производительность сетевой обработки за счет того, что все сетевые драйверы являются 32-х разрядными виртуальными драйверами.

С середины 1993 года Microsoft начала выпуск новых операционных систем "новой технологии" (New Technology - NT) Windows NT.

В сентябре 1995 года компания Microsoft выпустила еще одну новую операционную систему Windows 95 (кодовое название Chicago), предназначенную для замены Windows 3.1 и Windows for Workgroups 3.11 в настольных компьютерах с процессорами Intel x86.

В 1995-м году фирмой Microsoft была разработана операционная система Windows NT в качестве серверной платформы. Windows NT является уникальной и мощной ОС. При ее разработке преследовались следующие цели: надежность, производительность, переносимость, масштабируемость, совместимость и безопасность.

Надежность позволяет использовать Windows NT в качестве основы для задач, требующих именно этого свойства. Она идеально приспособлена для работы в качестве сетевого сервера и рабочей станции, где требуется повышенная устойчивость и высокая производительность.

Будучи истинно 32-х разрядной системой, Windows NT работает в 32-х битовой линейной модели памяти, которая позволяет адресовать 4 Гбайт (свыше 4-х миллиардов байт) памяти.

Windows NT использует метод вытесняющей многозадачности, что гарантирует адекватное распределение ресурсов процессора на протяжении всей работы системы. Это также предотвращает монопольный захват процессора приложением и остановку системы в тех случаях, когда приложение работает нестабильно или внезапно прекратило работу. Это позволяет Windows NT работать даже тогда, когда другая операционная система окончательно бы зависла.

Транзакционная файловая система (NTFS) Windows NT усовершенствована и предельно надежна. Используя транзакции, Windows NT имеет возможность отменить незавершенную или неправильную операцию записи, возникающую в случае сбоя аппаратного или программного обеспечения (например, внезапное отключение электропитания во время записи файла). Благодаря такому подходу файловая система Windows NT гораздо менее подвержена разрушению при различных нештатных ситуациях.

Все составляющие части Windows NT используют 32-х битовый код что позволяет повысить скорость работы по сравнению операционными системами использующими 16-ти разрядную технологию.

Операционная система Windows NT существует в двух вариантах - Windows NT Server и Windows NT Workstation. Первая предназначена для использования в качестве сервера и имеет все возможности для его реализации. Вторая предназначена для рабочих станций, ее целесообразно использовать на рабочих станциях, где требуется повышенная защищенность и надежность работы.

На текущий момент фирмой Microsoft выпущена ОС Windows 2000. В эту версию вложено несколько новых усовершенствований, среди них: поддержка файловой системы FAT32, в связи с чем стало возможным использование жестких дисков больших емкостей и возможность использование их емкости с меньшими потерями, по сравнению с более старой

файловой системой FAT16. Еще в систему внесена технология Plug-and-Play, позволяющая упростить процесс инсталляции новых аппаратных компонентов. В операционной системе Windows NT этих возможностей не было.

Эта система также выпущена в двух вариантах Windows 2000 Server - для сервера и Windows 2000 Professional - для рабочих станций. В недалеком будущем фирма Microsoft планирует выпуск новых сетевых операционных систем.

Лекция №16, 17. Технология TokenRing.

Вопросы:

1. Оборудование TR.
2. Топология TR.

1. Оборудование TR.

Сети Token Ring, так же как и сети Ethernet, характеризует разделяемая среда передачи данных, которая в данном случае состоит из отрезков кабеля, соединяющих все станции сети в кольцо. Кольцо рассматривается как общий разделяемый ресурс, и для доступа к нему требуется не случайный алгоритм, как в сетях Ethernet, а детерминированный, основанный на передаче станциям права на использование кольца в определенном порядке. Это право передается с помощью кадра специального формата, называемого *маркером или токеном (token)*.

Технология Token Ring была разработана компанией IBM в 1984 году, а затем передана в качестве проекта стандарта в комитет IEEE 802, который на ее основе принял в 1985 году стандарт 802.5. Компания IBM использует технологию Token Ring в качестве своей основной сетевой технологии для построения локальных сетей на основе компьютеров различных классов - мэйнфреймов, мини-компьютеров и персональных компьютеров. В настоящее время именно компания IBM является основным законодателем моды технологии Token Ring, производя около 60 % сетевых адаптеров этой технологии.

Сети Token Ring работают с двумя битовыми скоростями - 4 и 16 Мбит/с. Смешение станций, работающих на различных скоростях, в одном кольце не допускается. Сети Token Ring, работающие со скоростью 16 Мбит/с, имеют некоторые усовершенствования в алгоритме доступа по сравнению со стандартом 4 Мбит/с.

Технология Token Ring является более сложной технологией, чем Ethernet. Она обладает свойствами отказоустойчивости. В сети Token Ring определены процедуры контроля работы сети, которые используют обратную связь кольцеобразной структуры - посланный кадр всегда возвращается в станцию - отправитель. В некоторых случаях обнаруженные ошибки в работе сети устраняются автоматически, например может быть восстановлен потерянный маркер. В других случаях ошибки только фиксируются, а их устранение выполняется вручную обслуживающим персоналом.

Для контроля сети одна из станций выполняет роль так называемого *активного монитора*. Активный монитор выбирается во время инициализации кольца как станция с максимальным значением MAC-адреса. Если активный монитор выходит из строя, процедура инициализации кольца повторяется и выбирается новый активный монитор. Чтобы сеть могла обнаружить отказ активного монитора, последний в работоспособном состоянии каждые 3 секунды генерирует специальный кадр своего присутствия. Если этот кадр не появляется в сети более 7 секунд, то остальные станции сети начинают процедуру выборов нового активного монитора.

Оборудование TR.

Концентратор TokenRing (MSAU) представляет собой набор блоков TCU (TrunkCouplingUnit – блок подключения к магистрали), к которым отдельными радиальными кабелями (lobecabling) подключаются станции. Блок TCU содержит реле, в нормальном состоянии замыкающее магистраль в обход порта (одновременно замыкает вход и выход порта со стороны станции). Если к порту подключена станция, то она выдает “фантомный”

сигнал постоянного тока, переключающий реле. Если станция отключается от кольца или происходит обрыв кабеля, реле восстанавливает обходной путь. Станция, физически подключенная к TCU, может проверить свою линию до MSAU (поскольку TCU обеспечивает замыкание ее приемника на ее передатчик), и, в случае исправности линии, выдать “фантомный сигнал”.

Конструктивно концентратор представляет собой автономный блок с десятью разъемами на передней панели (рис. 40).

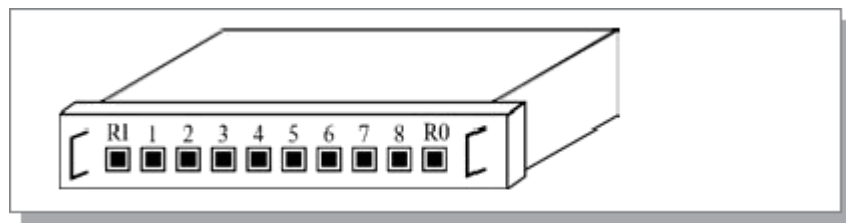


Рисунок 40. Концентратор Token-Ring (8228 MAU)

Кроме блоков TCU (обычно от 8 до 24), концентраторы MSAU имеют два порта для образования кольца концентраторов: порт RI (RingIn, вход кольца) и порт RO (RingOut, выход кольца). Эти порты также снабжены реле, обеспечивающим замыкание магистрали в обход отключенного порта.

Концентраторы могут быть пассивными и активными. Пассивный MSAU обеспечивает только электрическое подключение станции к магистрали. Активный MASU имеет в каждом блоке TCU повторитель, восстанавливающий форму сигнала. Активные концентраторы могут содержать блок управления по SNMP или RMON. Сегментирующие (Portswitch) концентраторы позволяют организовывать несколько колец на одном устройстве.

Сетевые адаптеры содержат блок повторения, который может регенерировать сигнал и восстанавливать его синхронизацию (этим занимается только активный монитор). Для ресинхронизации используется 30-битный буфер, в котором накапливаются сигналы. Этот буфер подключается активным монитором к кольцу, и все данные пропускаются через него, выходя с нужной частотой. (При максимальном количестве станций (260) смещение бита за оборот по кольцу может достигать трех битовых интервалов.)

Технология TokenRing позволяет использовать для магистральных и радиальных кабелей витую пару (UTP или STP) или оптоволокно. Расстояние между пассивными концентраторами может достигать 100 м (STPType 1) и 45 м (UTPCategory 3), а между активными – 730 м и 365 м соответственно. Использование оптоволокну увеличивает максимальную длину каждого сегмента до 1 км. Разные производители оборудования и программного обеспечения определяют различные ограничения, так что при проектировании сети TokenRing необходимо пользоваться данными выбранного производителя.

2. Топология TR.

Сеть **Token-Ring** имеет топологию кольцо, хотя внешне она больше напоминает звезду. Это связано с тем, что отдельные абоненты (компьютеры) присоединяются к сети не напрямую, а через специальные концентраторы или многостанционные устройства доступа (MSAU или MAU – Multistation Access Unit). Физически сеть образует звездно-кольцевую топологию (рисунок 41). В действительности же абоненты объединяются все-таки в кольцо, то есть каждый из них передает информацию одному соседнему абоненту, а принимает информацию от другого.

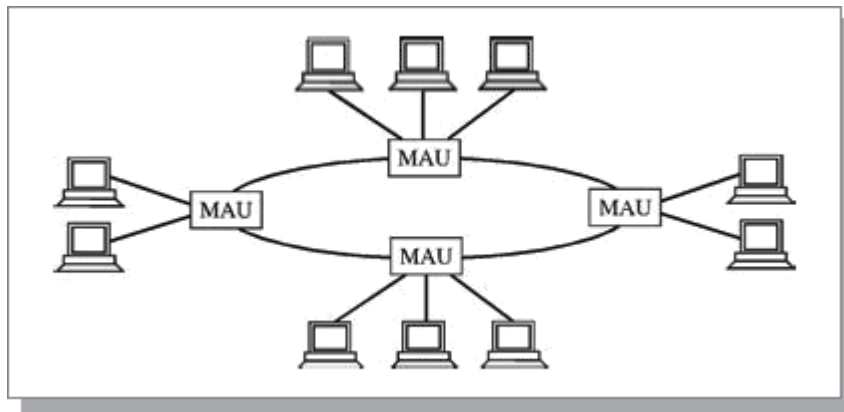


Рисунок 41. Звездно-кольцевая топология сети Token-Ring

Концентратор (*MAU*) при этом позволяет централизовать задание конфигурации, отключение неисправных абонентов, *контроль* работы сети и т.д. Никакой обработки информации он не производит.

Для каждого абонента в составе концентратора применяется специальный блок подключения к магистральной (*TCU – Trunk Coupling Unit*), который обеспечивает автоматическое включение абонента в кольцо, если он подключен к концентратору и исправен. Если *абонент* отключается от концентратора или же он неисправен, то блок *TCU* автоматически восстанавливает *целостность* кольца без участия данного абонента. Срабатывает *TCU* по сигналу постоянного тока (так называемый "фантомный" ток), который приходит от абонента, желающего включиться в кольцо. *Абонент* может также отключиться от кольца и провести процедуру *самотестирования*. "Фантомный" ток никак не влияет на информационный сигнал, так как сигнал в кольце не имеет постоянной составляющей.

Эта топология основана на топологии "физическое кольцо с подключением типа звезда". В данной топологии все рабочие станции подключаются к центральному концентратору (*TokenRing*) как в топологии физическая звезда. Центральный концентратор - это интеллектуальное устройство, которое с помощью переключателей обеспечивает последовательное соединение выхода одной станции со входом другой станции.

Другими словами с помощью концентратора каждая станция соединяется только с двумя другими станциями (предыдущей и последующей станциями). Таким образом, рабочие станции связаны петлей кабеля, по которой пакеты данных передаются от одной станции к другой и каждая станция ретранслирует эти посланные пакеты. В каждой рабочей станции имеется для этого приемо-передающее устройство, которое позволяет управлять прохождением данных в сети. Физически такая сеть построена по типу топологии "звезда".

Концентратор создаёт первичное (основное) и резервное кольца. Если в основном кольце произойдёт обрыв, то его можно обойти, воспользовавшись резервным кольцом, так как используется четырёхжильный кабель. Отказ станции или обрыв линии связи рабочей станции не влечет за собой отказ сети как в топологии кольцо, потому что концентратор отключает неисправную станцию и замкнет кольцо передачи данных.

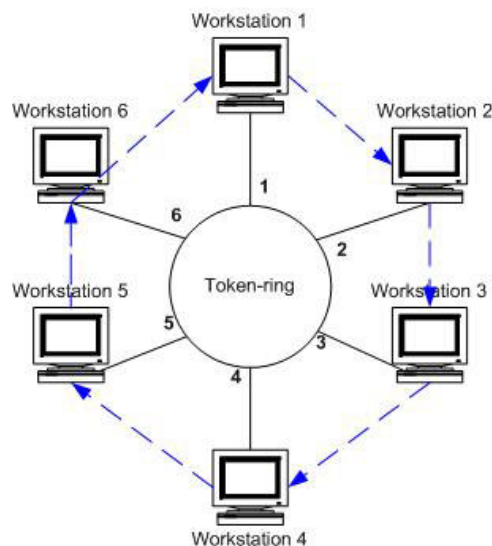


Рисунок 42 - Топология TokenRing

В архитектуре TokenRing маркер передаётся от узла к узлу по логическому кольцу, созданному центральным концентратором. Такая маркерная передача осуществляется в фиксированном направлении (направление движения маркера и пакетов данных представлено на рисунке стрелками синего цвета). Станция, обладающая маркером, может отправить данные другой станции.

Для передачи данных рабочие станции должны сначала дождаться прихода свободного маркера. В маркере содержится адрес станции, пославшей этот маркер, а также адрес той станции, которой он предназначен. После этого отправитель передает маркер следующей в сети станции для того, чтобы и та могла отправить свои данные.

Один из узлов сети (обычно для этого используется файл-сервер) создаёт маркер, который отправляется в кольцо сети. Такой узел выступает в качестве активного монитора, который следит за тем, чтобы маркер не был утерян или разрушен.

Основные *технические характеристики* классического варианта сети *Token-Ring*:

- максимальное количество концентраторов типа IBM 8228 MAU – 12;
- максимальное количество абонентов в сети – 96;
- максимальная длина кабеля между абонентом и концентратором – 45 метров;
- максимальная длина кабеля между концентраторами – 45 метров;
- максимальная длина кабеля, соединяющего все концентраторы – 120 метров;
- скорость передачи данных – 4 Мбит/с и 16 Мбит/с.

Все приведенные характеристики относятся к случаю использования неэкранированной витой пары. Если применяется другая *среда передачи*, характеристики сети могут отличаться. Например, при использовании экранированной витой пары (STP) количество абонентов может быть увеличено до 260 (вместо 96), длина кабеля – до 100 метров (вместо 45), количество концентраторов – до 33, а полная *длина кольца*, соединяющего *концентраторы* – до 200 метров. Оптоволоконный *кабель* позволяет увеличивать длину кабеля до двух километров.

Преимущества сетей топологии TokenRing:

- топология обеспечивает равный доступ ко всем рабочим станциям;
- высокая надежность, так как сеть устойчива к неисправностям отдельных станций и к разрывам соединения отдельных станций.

Недостатки сетей топологии TokenRing: большой расход кабеля и соответственно дорогостоящая разводка линий связи.

Лекция №18. Технология Frame Relay.

Вопросы:

1. Технология FrameRelay

1. Технология FrameRelay

Сеть Frame Relay является сетью с коммутацией кадров или сетью с ретрансляцией кадров, ориентированной на использование цифровых линий связи. Первоначально технология Frame Relay была стандартизирована как служба в сетях ISDN со скоростью передачи данных до 2 Мбит/с. В дальнейшем эта технология получила самостоятельное развитие. Frame Relay поддерживает физический и канальный уровни OSI. Технология Frame Relay использует для передачи данных технику виртуальных соединений (коммутируемых и постоянных).

Стек протоколов Frame Relay передает кадры при установленном виртуальном соединении по протоколам физического и канального уровней. В Frame Relay функции сетевого уровня перемещены на канальный уровень, поэтому необходимость в сетевом уровне отпала. На канальном уровне в Frame Relay выполняется мультиплексирование потока данных в кадры.

Каждый кадр канального уровня содержит заголовок, содержащий номер логического соединения, который используется для маршрутизации и коммутации трафика. Frame Relay - осуществляет мультиплексирование в одном канале связи нескольких потоков данных. Кадры при передаче через коммутатор не подвергаются преобразованиям, поэтому сеть получила название ретрансляции кадров. Таким образом, сеть коммутирует кадры, а не пакеты. Скорость передачи данных до 44 Мбит/с, но без гарантии целостности данных и достоверности их доставки.

Frame Relay ориентирована на цифровые каналы передачи данных хорошего качества, поэтому в ней отсутствует проверка выполнения соединения между узлами и контроль достоверности данных на канальном уровне. Кадры передаются без преобразования и контроля как в коммутаторах локальных сетей. За счет этого сети Frame Relay обладают высокой производительностью. При обнаружениях ошибок в кадрах повторная передача кадров не выполняется, а искаженные кадры отбраковываются. Контроль достоверности данных осуществляется на более высоких уровнях модели OSI.

Сети Frame Relay широко используются в корпоративных и территориальных сетях в качестве:

- каналов для обмена данными между удаленными локальными сетями (в корпоративных сетях);
- каналов для обмена данными между локальными и территориальными (глобальными) сетями.

Технология Frame Relay (FR) в основном используется для маршрутизации протоколов локальных сетей через общие (публичные) коммуникационные сети. Frame Relay обеспечивает передачу данных с коммутацией пакетов через интерфейс между оконечными устройствами пользователя DTE (маршрутизаторами, мостами, ПК) и оконечным оборудованием канала передачи данных DCE (коммутаторами сети типа "облако").

Коммутаторы Frame Relay используют технологию сквозной коммутации, т.е. кадры передаются с коммутатора на коммутатор сразу после прочтения адреса назначения, что обеспечивает высокую скорость передачи данных. В сетях Frame Relay применяются высококачественные каналы передачи, поэтому возможна передача трафика чувствительного к задержкам (голосовых и мультимедийных данных). В магистральных каналах сети Frame Relay используются волоконно-оптические кабели, а в каналах доступа может применяться высококачественная витая пара.



Рисунок 43. Сеть Frame Relay

На рисунке представлена структурная схема сети Frame Relay, где изображены основные элементы:

1. DTE (data terminal equipment) – аппаратура передачи данных (маршрутизаторы, мосты, ПК).
2. DCE (data circuit-terminating equipment) – оконечное оборудование канала передачи данных (телекоммуникационное оборудование, обеспечивающее доступ к сети).

1.1.1.5 Физический уровень Frame Relay

На физическом уровне Frame Relay используют цифровые выделенные каналы связи, протокол физического уровня I.430/431.

1.1.1.6 Канальный уровень Frame Relay

В сети Frame Relay используется два типа виртуальных каналов: постоянные (PVC) и коммутируемые виртуальные каналы. На канальном уровне поток данных структурируется на кадры, поле данных в кадре имеет переменную величину, но не более 4096 байт. Канальный уровень реализуется протоколом LAP-F. Протокол LAP-F имеет два режима работы: основной и управляющий. В основном режиме кадры передаются без преобразования и контроля.

В поле заголовка кадра имеется информация, которая используется для управления виртуальным соединением в процессе передачи данных. Виртуальному соединению присваивается определенный номер (DLCI). DLCI (Data Link Connection Identifier) - идентификатор соединения канала данных.

Каждый кадр канального уровня содержит номер логического соединения, который используется для маршрутизации и коммутации трафика. При этом контроль правильности передачи данных от отправителя получателю осуществляется на более высоком уровне модели OSI.

Коммутируемые виртуальные каналы используются для передачи импульсного трафика между двумя устройствами DTE. Постоянные виртуальные каналы применяются для постоянного обмена сообщениями между двумя устройствами DTE.

Процесс передачи данных через коммутируемые виртуальные каналы осуществляется следующим образом:

- установление вызова - образуется коммутируемый логический канал между двумя DTE;
- передача данных по установленному логическому каналу;
- режим ожидания, когда коммутируемая виртуальная цепь установлена, но обмен данными не происходит;
- завершение вызова - используется для завершения сеанса, осуществляется разрыв конкретного виртуального соединения.

Процесс передачи данных через предварительно установленные постоянные виртуальные каналы осуществляется следующим образом:

- передача данных по установленному логическому каналу;

- режим ожидания, когда коммутируемая виртуальная цепь установлена, но обмен данными не происходит.

Протокол FR – это интерфейс доступа к сетям быстрой коммутации пакетов. Он позволяет эффективно передавать крайне неравномерно распределенный во времени трафик. Отличительные особенности протокола FR: малое время задержки при передаче информации через сеть, высокие скорости передачи, «высокая степень связности», эффективное использование полосы пропускания. По сетям FR возможна передача не только собственно данных, но и оцифрованного голоса.

Протокол FR выполняет функции первого, частично второго и третьего уровней модели ВОС. Он позволяет устанавливать соединение между взаимодействующими узлами сети, что аналогично соединению по X.25 в случае, когда используется постоянное виртуальное соединение (PVC). Внутри каждого физического канала может быть создана совокупность PVC (логических каналов), что и объясняет «высокую степень связности», обеспечиваемую протоколом FR. Что касается коммутируемых виртуальных соединений (SVC), то их использование в FR-сетях описывается специальными протоколами.

В отличие от сетей X.25, где на сетевом уровне обеспечивается гарантированная передача пакетов (в случае искажения при передаче какого-либо пакета происходит его повторная передача), кадр FR не содержит переменных нумераций передаваемых и подтверждаемых кадров. При межузловом обмене информацией в сетях FR ошибочные кадры просто «выбрасываются», их повторная передача средствами FR не происходит. Для обеспечения гарантированной и упорядоченной передачи кадров необходимо использовать либо протоколы более высокого уровня (например, протокол TCP/IP), либо дополнение к протоколу FR (например, Q.922).

Кадр FR-сети имеет минимальную избыточность, т.е. доля служебной информации в кадре по отношению к передаваемым данным пользователя минимальна. Это способствует сокращению времени на передачу фиксированного объема информации. Кроме того, в сети FR может производиться маршрутизация своими средствами (без задействования механизмов маршрутизации по X.25 или по протоколу IP), что значительно увеличивает скорость маршрутизации. Однако такой эффект достигается только при использовании каналов, качество которых соответствует требованиям технологии FR. В противном случае сравнительно много кадров будут передаваться с ошибкой, и потребуются повторная передача кадров, обеспечиваемая дополнительными средствами. Это снизит информационную скорость передачи информации и более эффективной в этом случае станет сеть X.25.

Эффективность технологии FR достигается также использованием специфических механизмов, управляющих загрузкой сети. Эти механизмы обеспечивают практически гарантированное время доставки кадров через сеть и одновременно дают возможность сети адаптироваться к крайне неравномерным во времени типам трафика (например, к трафику ЛКС).

Стремительному развитию технологии FR и повышению ее эффективности способствует ряд факторов, в частности улучшение качества каналов связи, использование современного многофункционального каналаобразующего оборудования. К новому классу такого оборудования относятся мультимедийные пакетные коммутаторы (МПК).

Коммутаторы МПК, использующие технологию FR для транспортировки информации, совмещают несколько функций:

- статистическое уплотнение каналов передачи данных, при котором фиксированные промежутки времени в уплотняемом канале не предоставляются отдельно каждому каналу, как это имеет место при использовании метода временного уплотнения; информация каждого канала разбивается на отдельные блоки, к блоку прибавляются заголовок, содержащий идентификатор соответствующего канала, и хвост, что образует единицу передачи информации – кадр, с помощью которого могут передаваться все виды трафика. Основные преимущества такого уплотнения: динамическое распределение пропускной способности уплотненного канала связи в зависимости от активности в каналах передачи

данных, возможность предоставления пропускной способности по требованию, возможность установки приоритетов для различных видов трафика;

- коммутацию и передачу различных видов трафика;
- управление потоком информации и установка приоритетов;
- поддержку функций телефонных станций. К функциям АТС, выполняемым МПК,

относятся оцифровка и коммутация голоса, передача факсимильных сообщений. Для технологии FR характерным является возможное увеличение задержки при передаче голоса по сравнению с обычной телефонной сетью. Устранить это явление можно путем установления более высокого приоритета для голосового трафика и применения фрагментации кадров.

Распространению технологии FR способствует также наличие стандартов, обеспечивающих совместимость сетей FR с другими сетями. Например, имеется стандарт IETF 1294 для преобразования пакетов TCP/IP в кадры FR. Есть стандарты, обеспечивающие совместимость FR с самыми высокопроизводительными и современными сетями – сетями АТМ. При «входе» в сеть АТМ длинные кадры FR разбиваются на короткие, размещаемые внутри АТМ-ячеек, а при «выходе» из сети АТМ из ячеек АТМ-сети извлекаются фрагменты кадров FR и из них собираются полные кадры FR.

В настоящее время за рубежом, особенно в США, наблюдается стремительное развитие сетей FR. За один 1996 год число пользователей этих сетей выросло более чем в три раза. В начале 1997 г. около 1800 фирм США строили свои корпоративные сети на базе магистральных сетей FR. Наиболее распространенные способы доступа к сетям FR: использование выделенных линий; через сети X.25 по обычным коммутируемым телефонным линиям; через ISDN для передачи данных и голоса.

В России большинство сетей передачи данных общего пользования также предоставляют пользователям FR-сервис. Основная проблема с реализацией магистральной сети FR заключается в том, что те магистральные междугородние каналы, которые построены на базе телефонных линий (линий тональной частоты), не обеспечивают необходимое для сети FR качество передачи. Для построения сетей FR самые широкие возможности имеют те предприятия, решения которых основаны на базе оптоволоконных или спутниковых каналов связи.

Достоинства сети Frame Relay:

- высокая надежность работы сети;
- обеспечивает передачу чувствительный к временным задержкам трафик (голос, видеоизображение).

Недостатки сети Frame Relay:

- высокая стоимость качественных каналов связи;
- не обеспечивается достоверность доставки кадров.

Технология FR и в будущем сохранит свои преимущества и актуальность, поскольку она обеспечивает идеальный доступ к высокоскоростной магистральной АТМ-сети по низкоскоростным каналам связи. Эта технология в настоящее время является наиболее эффективной для приложений, связанных с интеграцией неравномерного (пульсирующего) трафика локальных сетей, и чувствительной к задержке голосовой информации.

2. Методические указания по выполнению лабораторных работ

Лабораторная работа № 1 (2 часа)

Тема: «Способы коммутации»

Цель работы: изучить таблицу коммутации и Web-интерфейс коммутатора D-Link.

Задачи работы:

1. Изучить таблицу коммутации;
2. Изучить Web-интерфейс коммутатора D-Link.

Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Рабочая станция;
2. Коммутатор DES-3200-10;
3. Кабель Ethernet;
4. Консольный кабель.

Описание (ход) работы:

Коммутатор (switch) — основное активное сетевое оборудование современных локальных сетей. В отличие от концентратора, коммутатор работает на канальном уровне модели OSI и передает кадры не на все порты, а непосредственно получателю, анализируя MAC-адрес источника/назначения.

Передача кадров коммутатором осуществляется на основе *таблицы коммутации*. Каждая запись в таблице коммутации состоит из номера порта и MAC-адреса. Как создаются записи в таблице коммутации? Например, если на порт 1 коммутатора поступает кадр от рабочей станции ПК1, то в таблице создается запись, ассоциирующая MAC-адрес рабочей станции ПК1 с номером входного порта. Таблица коммутации может строиться коммутатором автоматически, на основе динамического изучения MAC-адресов источников поступающих на порты кадров, или создаваться вручную администратором сети.

Коммутируемые сети имеют ряд особенностей и ограничений. Одной из главных проблем таких сетей, является увеличение широковещательных доменов. *Широковещательный домен* — это область распространения широковещательного трафика. Широковещательные кадры передаются на все узлы сети и могут привести к нерациональному использованию полосы пропускания. Для того, чтобы этого не происходило, нужно организовать небольшие широковещательные домены или *виртуальные локальные сети (VLAN)*.

Виртуальной локальной сетью называется логическая группа узлов сети, трафик которой, в том числе и широковещательный, на канальном уровне полностью изолирован от других узлов сети. Это значит, что передача кадров между разными виртуальными локальными сетями на основе MAC-адреса невозможна независимо от типа адреса — уникального, группового или широковещательного. В то же время, внутри виртуальной локальной сети кадры передаются по технологии коммутации, то есть только на тот порт, который связан с MAC-адресом назначения кадра.

1.1 Управление коммутатором через Web-интерфейс и изучение таблицы коммутации

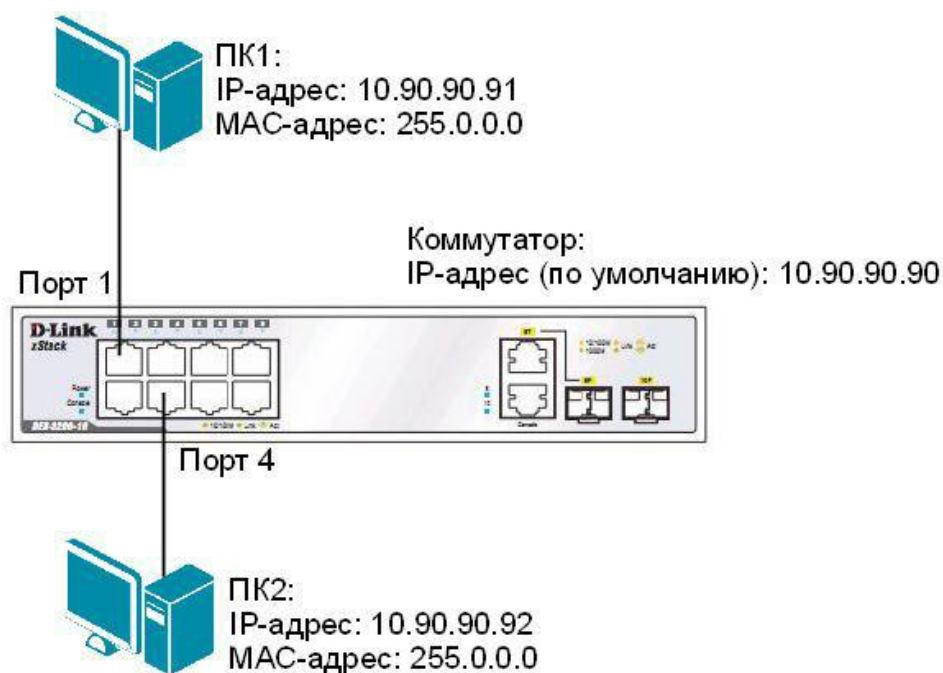


Рисунок 1.1 Схема сети

Шаг 1. Подключите ПК1 и ПК2 к коммутатору как показано на рис. 1.1.

Шаг 2. Настройте на рабочей станции ПК1 и ПК2 статический IP-адрес.

Шаг 3. Проверьте доступность соединения между рабочими станциями ПК1 и ПК2.

В командной строке ПК1 введите: `ping 10.90.90.92`

В командной строке ПК2 введите: `ping 10.90.90.91`

Шаг 4. Зайдите на Web-интерфейс коммутатора.

Чтобы зайти на Web -интерфейс коммутатора, выполните следующие действия:

1. На рабочей станции ПК1 запустите Web-браузер (Internet Explorer, Mozilla Firefox), в адресной строке которого укажите IP-адрес интерфейса управления коммутатора по умолчанию:

`http://10.90.90.90`

Внимание: IP-адрес управления коммутатора по умолчанию обычно указывается в руководстве пользователя. Для коммутатора D-Link DES-3200-10 IP-адрес управления по умолчанию — 10.90.90.90

2. В появившемся окне аутентификации, поля *User name* и *Password* оставьте пустыми и нажмите *Ок*. После этого появится окно Web-интерфейса управления коммутатора (рис. 1.2). Если на рабочей станции произведены настройки прокси-сервера, то их нужно отключить.

Для Mozilla Firefox: меню *Инструменты* → *Настройки* → *Дополнительные*. Далее вкладка *Сеть* → *Настройка параметров соединения Firefox с Интернетом* → *Настроить* → *Без прокси*.

Для Internet Explorer: меню *Сервис* → *Свойство обозревателя*. Далее вкладка *Подключения* → *Настройка сети* → *Автоматическое определение параметров*.

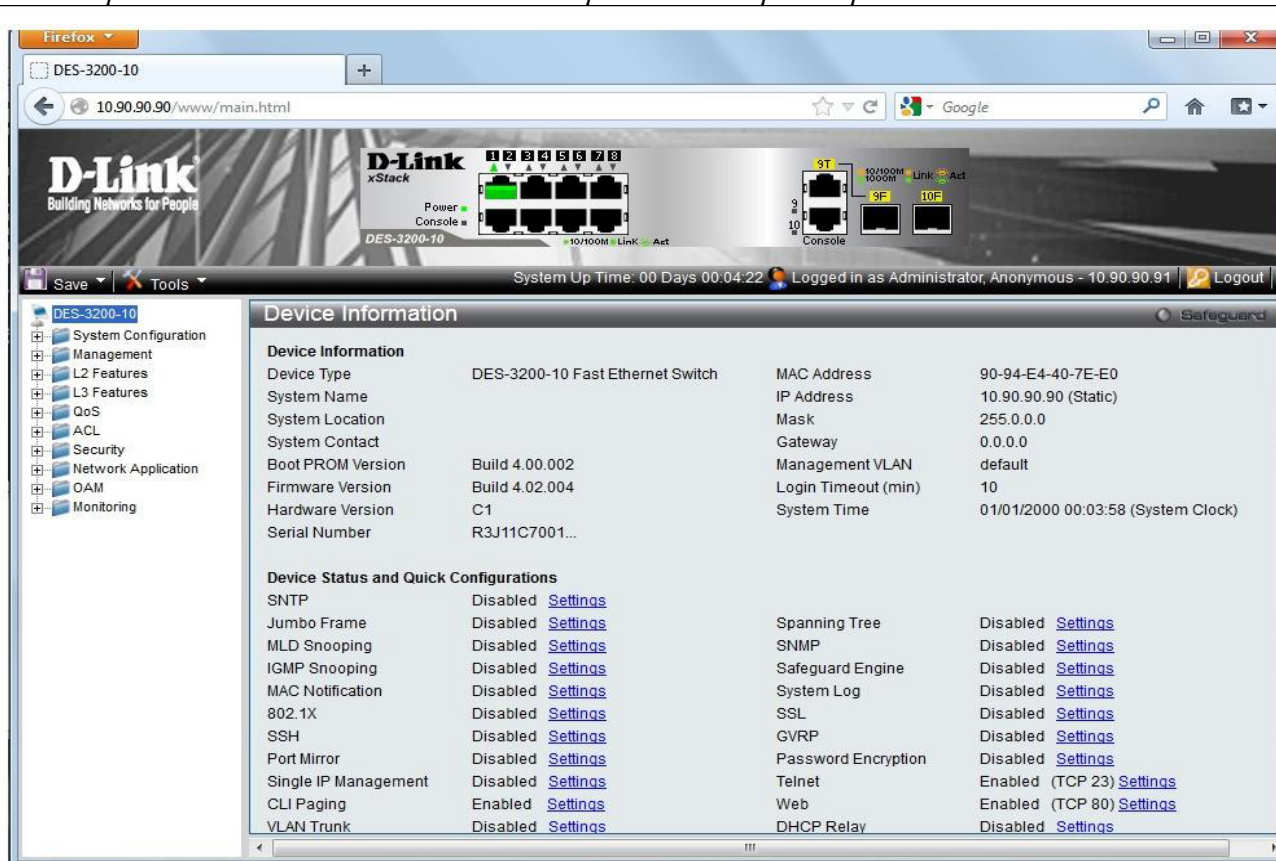


Рисунок 1.2 Web-интерфейс управления коммутатора DES-3200-10

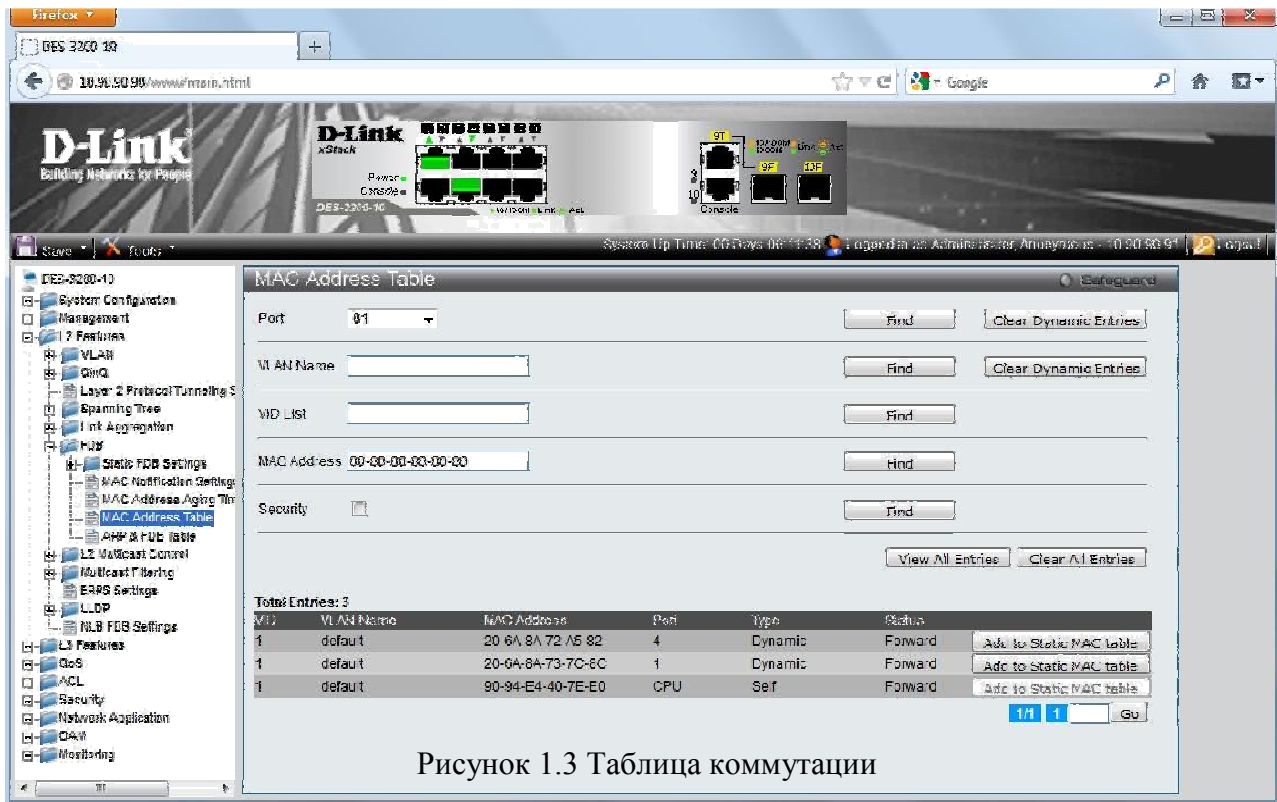
Шаг 5. Посмотрите содержимое таблицы коммутации. В левой части окна выберите *L2Features* → *FDB* → *MAC Address Table* (рис. 1.3).

Сколько записей наблюдаете? _____

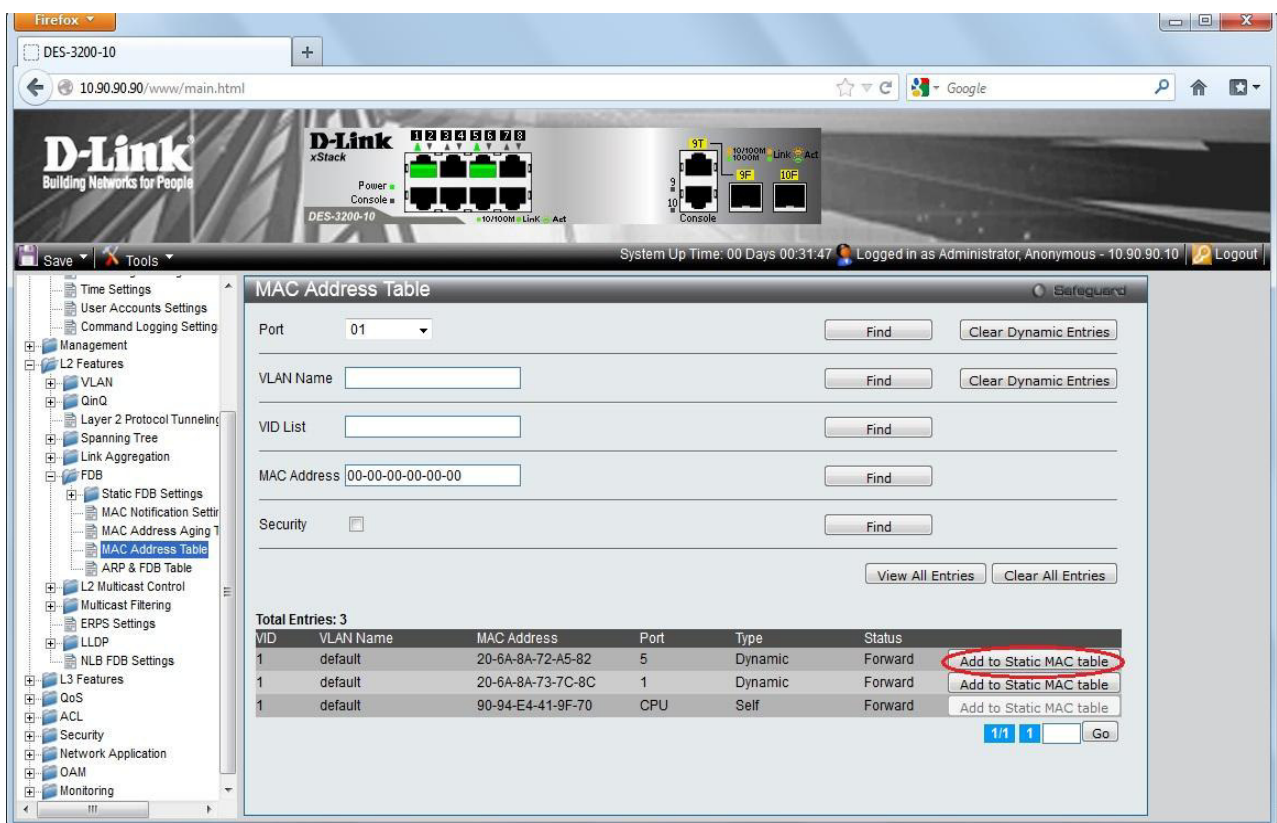
Какой тип (type) у каждой записи в таблице коммутации? _____

Шаг 6. Отключите рабочую станцию ПК2 от 4 порта и подключите к 5 порту.

Шаг 7. Посмотрите содержимое таблицы коммутации. Что изменилось? _____



Шаг 8. Создайте статическую запись в таблице коммутации для ПК2 на порте 5. Для этого нажмите на кнопку *Add to Static MAC table* (рис. 1.4).



Шаг 9. Отключите рабочую станцию ПК2 от 5 порта и подключите к 4 порту.

Шаг 10. Проверьте доступность соединения между рабочими станциями ПК1 и ПК2.

В командной строке ПК1 введите: ping 10.90.90.92

В командной строке ПК2 введите: ping 10.90.90.91

Объясните, почему нет связи между ПК1 и ПК2 _____

Шаг 11. Удалите статическую запись из таблицы коммутации. В левой части окна выберите *FDB → Static FDB Settings → Unicast Static FDB Settings*. В правой части окна нажмите *Delete* напротив записи для ПК2 (рис. 1.5).

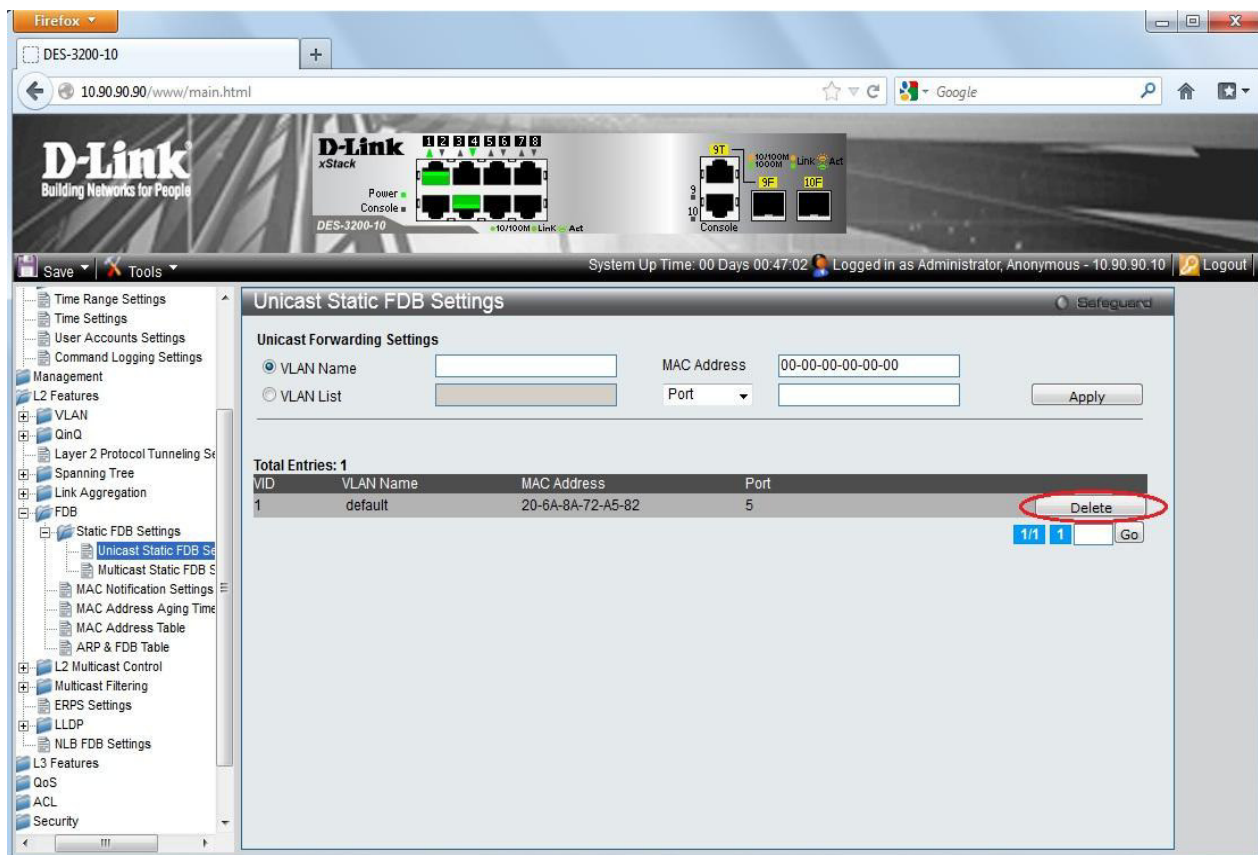


Рисунок 1.5 Удаление статической записи

Шаг 12. Проверьте доступность соединения между рабочими станциями ПК1 и ПК2.

В командной строке ПК1 введите: ping 10.90.90.92

В командной строке ПК2 введите: ping 10.90.90.91

Шаг 13. Сбросьте настройки коммутатора к заводским настройкам по умолчанию. Выберите *Tools → Reset → Reset Config* и нажмите *Apply*.

1.2 Диагностика сети во время широковещательного шторма

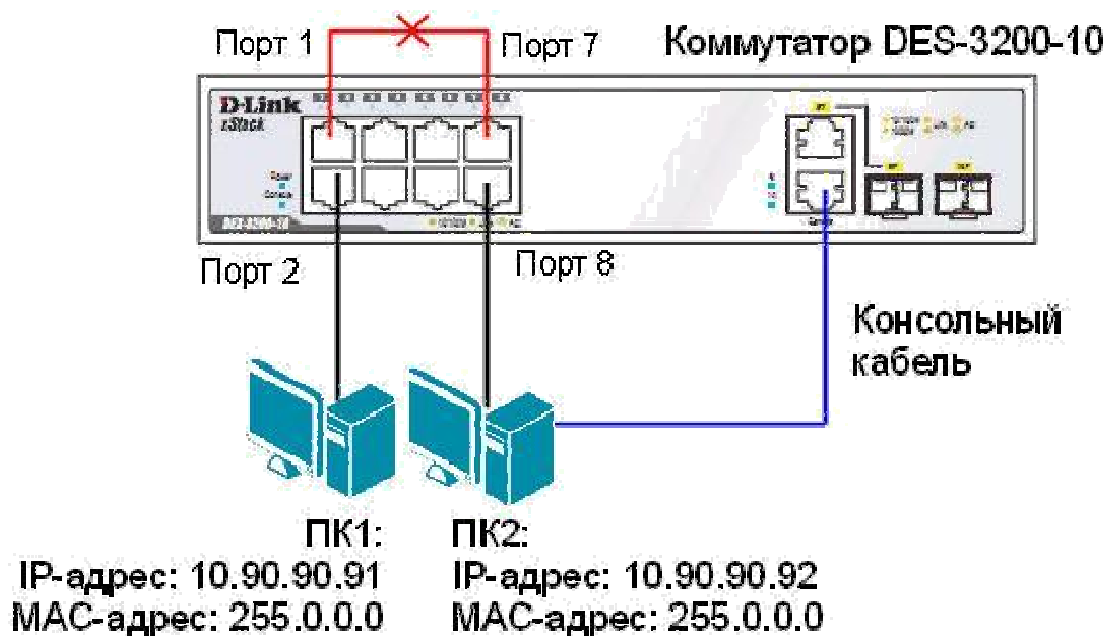


Рисунок 1.6 Схема сети

Управление коммутатором осуществляется не только через Web-интерфейс. Для более тонкой настройки устройства используется управление через интерфейс командной строки (Command Line Interface, CLI). Доступ к интерфейсу командной строки коммутатора осуществляется путем подключения к его консольному порту персонального компьютера с установленной программой эмуляции терминала.

Шаг 1. Подключите ПК2 к консольному порту коммутатора с помощью кабеля RS-232. После подключения к консольному порту коммутатора, на персональном компьютере запустите программу эмуляции терминала VT100 (например, *putty.exe* или программу *HyperTerminal* в Windows XP).

В программе HyperTerminal установите следующие параметры подключения:

	11520
Скорость (бит/с):	0
Биты данных:	8
Чётность:	нет
Стоповые биты:	1
Управление потоком:	нет

В программе Putty установите следующие параметры подключения:

1. В категории *Session* выберите *Serial* и установите скорость 115200 (рис. 1.7);

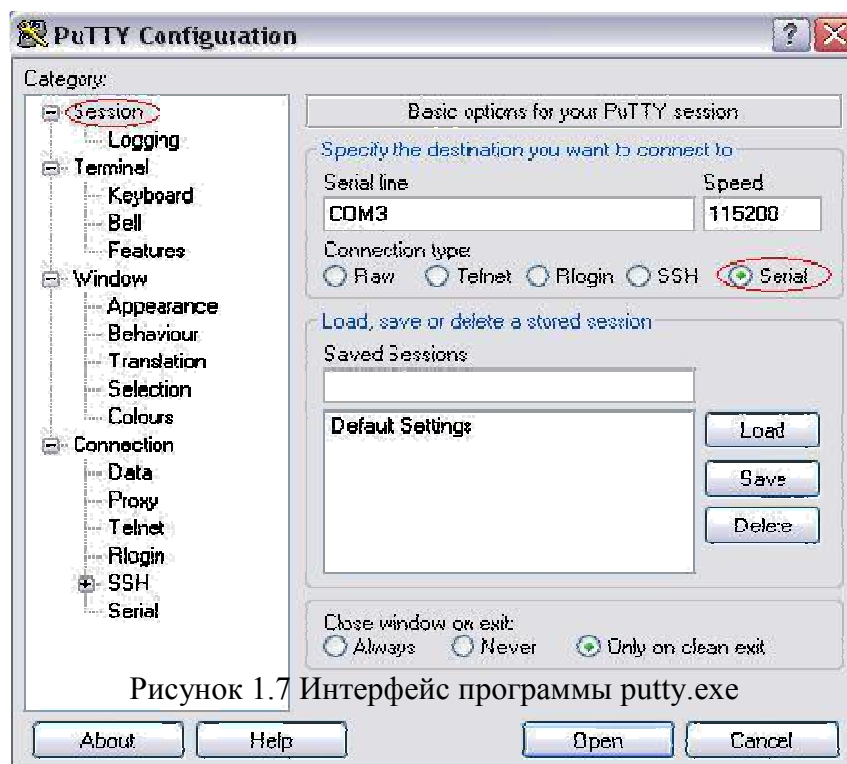


Рисунок 1.7 Интерфейс программы putty.exe

2. В категории *Translation* установите *UTF-8* и нажмите *Open* (рис. 1.8);

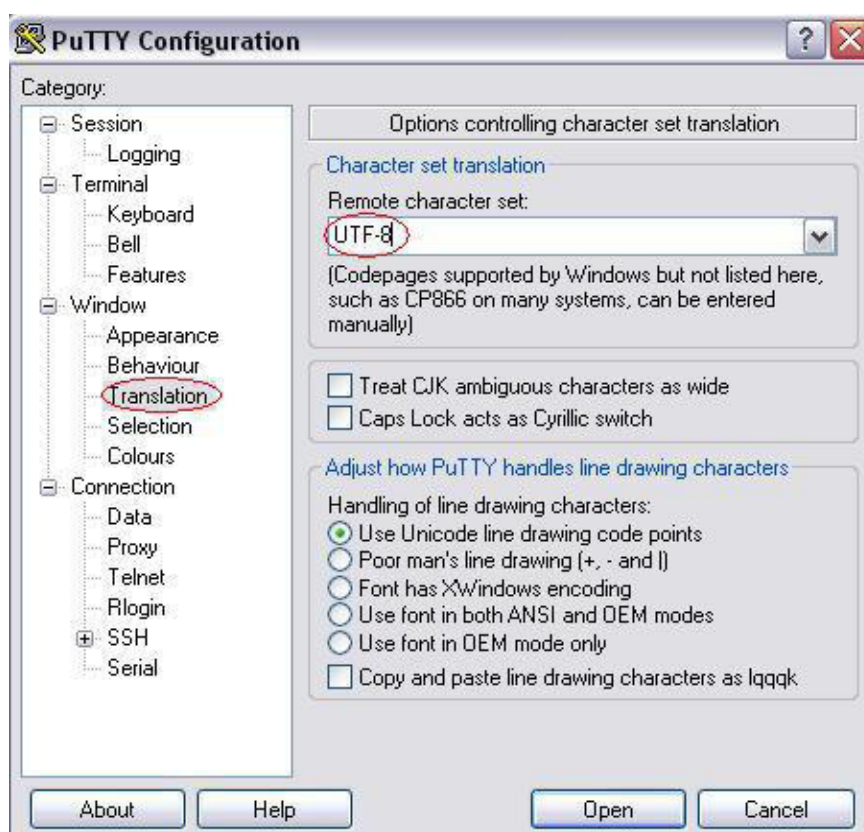


Рисунок 1.8 Интерфейс программы putty.exe

3. Нажмите кнопку *Open*. В открывшемся окне нажмите клавишу *Enter* (рис. 1.9).

Примечание: По умолчанию на коммутаторе *UserName* и *PassWord* не определены, поэтому два раза нажмите клавишу *Enter*.

После этого появится приглашение для ввода команд:
DES-3200-10:admin#



Рисунок 1.9 Окно эмуляции терминала VT100

Внимание: при написании команд в CLI важно учитывать регистр. Для того чтобы ознакомиться с правильностью написания команд, последовательностью выполнения операций можно обращаться к встроенной помощи по командам!

Примечание: не соединяйте порты коммутатора одним кабелем до особого указания.

Шаг 2. Проверьте доступность соединения между рабочими станциями ПК1 и ПК2.

В командной строке ПК1 введите: ping 10.90.90.92

В командной строке ПК2 введите: ping 10.90.90.91

Шаг 3. Посмотрите загрузку портов коммутатора: show utilization ports

Какая загрузка портов, используемых в схеме?

Порт 1% _____

Порт 2% _____

Порт 7% _____

Порт 8% _____

Шаг 4. Соберите схему и соедините кабелем Ethernet порты 1 и 7 коммутатора.

Шаг 5. Посмотрите загрузку портов коммутатора: show utilization ports

Что вы наблюдаете? Возник ширококвещательный шторм? Почему?

Какая теперь загрузка портов, используемых в схеме?

Порт 1% _____

Порт 2% _____

Порт 7% _____

Порт 8% _____

Шаг 6. Выполните на рабочей станции ПК1 команду: ping 10.90.90.92

то вы наблюдаете? Объясните почему нет связи между рабочими станциями?

Шаг 7. Удалите коммутационную петлю, отключив кабель от портов 1 и 7.

Шаг 8. Добавьте порты 2 и 8 в новую VLAN: config vlan default delete 2, 8
create vlan v2 tag 2
config vlan v2 add untagged 2,8

Шаг 9. Посмотрите загрузку портов коммутатора:show utilization ports

Какая загрузка портов, используемых в схеме?

Порт 1% _____

Порт 2% _____

Порт 7% _____

Порт 8% _____

Шаг 10. Соедините кабелем Ethernet порты 1 и 7 коммутатора.

Шаг 11. Посмотрите загрузку портов коммутатора:show utilization ports

Что вы наблюдаете? Почему нет широковещательного шторма на портах 2 и 6?

Шаг 12. Выполните на рабочей станции ПК1 команду:ping 10.90.90.92

Что вы наблюдаете? Объясните почему? _____

Лабораторная работа № 2, 3, 4 (6 часов)

Тема: «Характеристики линии связи»

Цель работы: изучить основные характеристики линий связи.

Задачи работы:

1. ознакомиться с основными характеристиками каналов связи.

Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. персональный компьютер, включенный в сеть IP, Microsoft Windows.

Описание (ход) работы:

К основным характеристикам канала (линии) связи существенно влияющим на качество передачи сигнала можно отнести:

- полосу пропускания;
- затухание;
- помехоустойчивость;
- пропускную способность;
- ☐ достоверность передачи данных.

Полоса пропускания

Полоса пропускания (*bandwidth*) – диапазон частот, в пределах которого амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) канала (линии) связи достаточно равномерна для того, чтобы обеспечить передачу сигнала без существенного искажения его формы.

Ширина полосы пропускания F определяется как разность верхней f_v и нижней f_n граничных частот участка АЧХ, на котором мощность сигнала уменьшается не более чем в 2 раза по сравнению с максимальным значением: $F=f_v - f_n$ (что приблизительно соответствует -3 дБ).

Измеряется полоса пропускания в герцах (Гц).

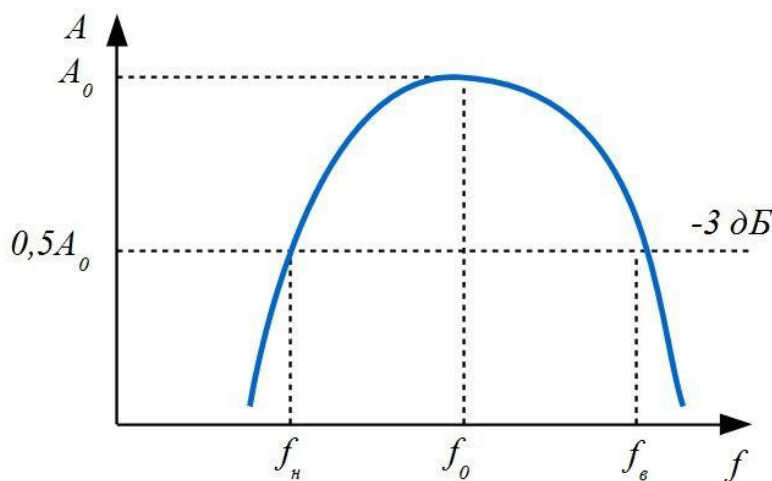


Рис. 1. Полоса пропускания канала связи

Ширина полосы пропускания существенным образом влияет на максимально возможную скорость передачи информации по каналу связи и зависит от типа среды передачи, наличия в каналах частотных фильтров.

Сигналы составлены из большого набора гармоник, однако приемник может получить лишь те гармоники, частоты которых находятся внутри полосы пропускания канала. Чем шире полоса пропускания канала, тем выше может быть скорость передачи данных и тем более высокочастотные гармоники сигнала могут передаваться. Если в полосу пропускания канала попадают гармоники, амплитуды которых вносят основной вклад в результирующий сигнал,

форма сигнала претерпит незначительные изменения, и сигнал будет правильно распознан приемником.

В противном случае форма сигнала будет значительно искажаться, что приведет к снижению скорости передачи информации по каналу вследствие проблем с его распознаванием, которые вызовут ошибки связи и повторные передачи.

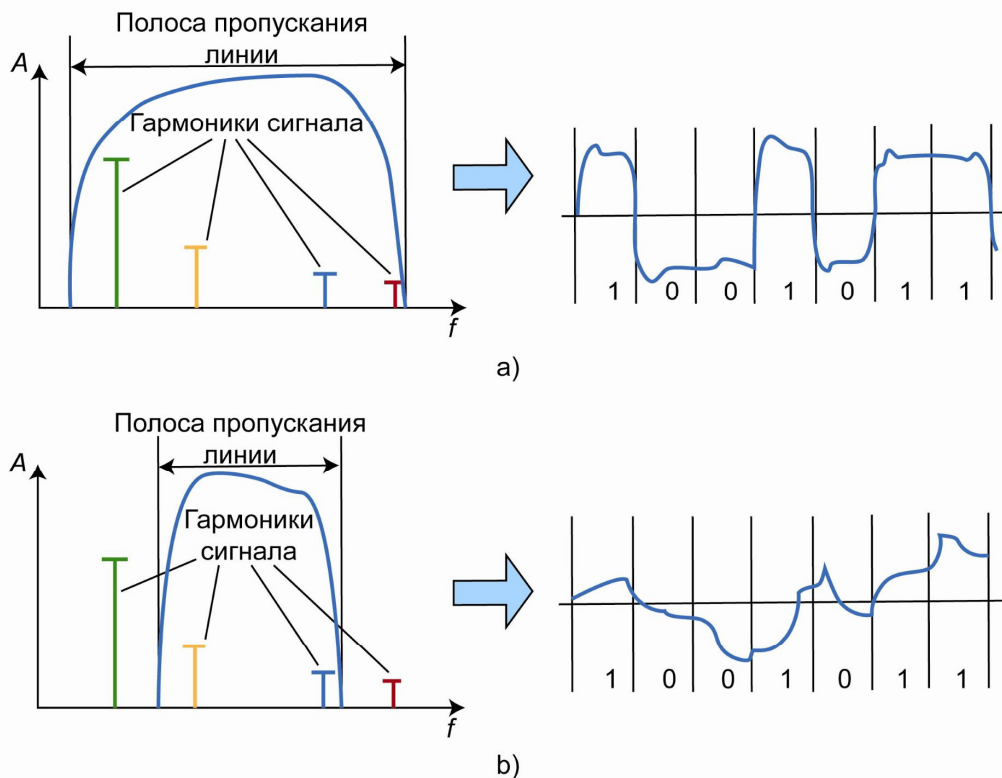


Рис. 2. Влияние полосы пропускания на сигнал

Затухание

При передаче сигнала по каналу связи, происходит его постепенное ослабление (*затухание*), что обусловлено физическими и техническими свойствами среды передачи и используемых сетевых устройств. Для корректного распознавания сигнала в точке приема это ослабление не должно превышать некоторой пороговой величины.

Затухание (*attenuation*) — это величина, показывающая, насколько уменьшается мощность (амплитуда) сигнала на выходе канала связи по отношению к мощности (амплитуде) сигнала на входе. Коэффициент затухания d измеряется в децибелах (дБ, dB) на единицу длины и вычисляется по следующей формуле:

$$d[\text{дБ}] = 10 \lg \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}},$$

где $P_{\text{вых}}$ — мощность выходного сигнала; $P_{\text{вх}}$ — мощность входного сигнала.

Затухание характерно как для аналоговых, так и для цифровых сигналов. Оно увеличивается с ростом частоты сигнала: чем выше частота, тем сильнее сигнал подвержен затуханию. По этой причине приемникам высокоскоростного оборудования значительно сложнее распознать исходный сигнал.

Затухание сигнала влияет на расстояние, которое он может пройти между двумя точками без усиления или восстановления. Затухание является одним из важных параметров определенных для кабелей (витой пары, волоконно-оптического, коаксиального). Чем меньше затухание, тем более качественным является кабель. Поэтому при проектировании проводных

каналов связи надо учитывать характеристики кабелей и использовать кабели с наименьшим значением затухания для достижения максимальной длины канала.

Помехоустойчивость

В реальном канале связи существуют помехи, обусловленные характеристиками среды передачи, каналообразующей аппаратуры, влиянием электромагнитных полей различных электронных устройств. В результате действия различных помех в канале связи появляются ошибки.

Одним из важнейших показателей канала связи является его **помехоустойчивость**, под которой понимают способность канала противостоять воздействию помех. Помехоустойчивость основывается на возможности отличить сигнал от помехи с заданной достоверностью, поэтому при построении канала связи нужно учитывать возможные помехи и предельно использовать различие между ними и сигналом.

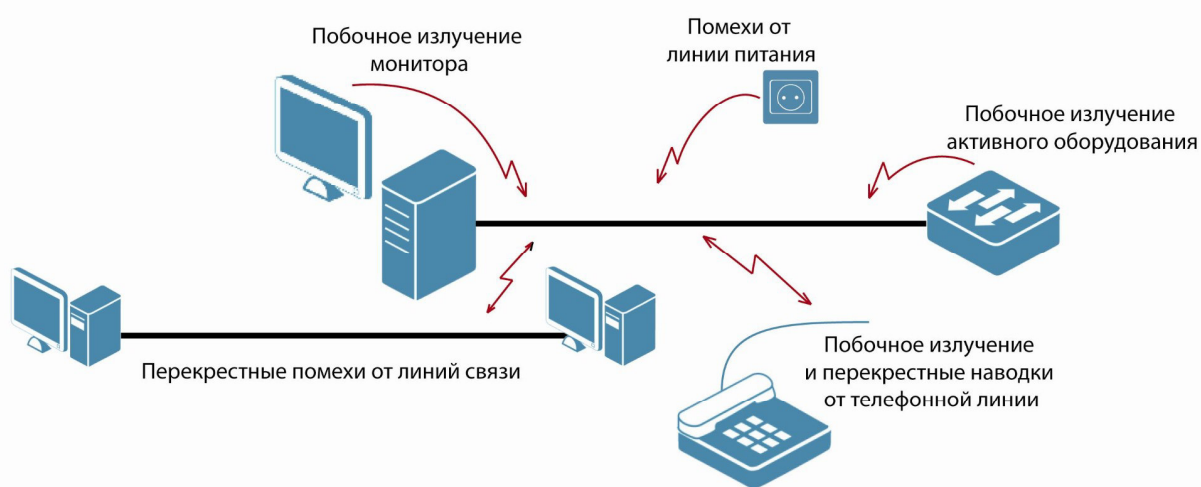


Рис. 4. Влияние помех на канал связи

В зависимости от источника возникновения и от характера их воздействия помехи делятся на внутренние, внешние и взаимные. *Внутренние помехи* или шумы возникают от источников находящихся в данном канале связи и появляются сразу же после включения оборудования связи. Они в основном определяются тепловыми, дробовыми, контактными и импульсными шумами и практически неустранимы.

Внешние помехи делятся на промышленные, радиопомехи, атмосферные и космические. Промышленные помехи (*электромагнитная интерференция*, Electro Magnetic Interference (EMI)) создаются в результате влияния на канал связи электромагнитных полей различных электрических устройств: ламп дневного света, бытовых приборов, компьютеров, радиосистем, линий электропередач, электрооборудования промышленных предприятий, медицинских установок, контактных сетей электрифицированного транспорта (трамвая, троллейбуса и т.п.), световой рекламы на газоразрядных лампах и т.п.

Радиопомехи (*радиочастотная интерференция*, Radio Frequency Interference (RFI)) возникают от излучения радиостанций различного назначения, спектр которых по какимлибо причинам накладывается на спектр полезных сигналов канала связи.

К атмосферным помехам относятся помехи, вызванные различными атмосферными явлениями: магнитными бурями, северными сияниями, грозовыми разрядами и т.д. К космическим помехам относятся электромагнитные помехи, создаваемые излучениями Солнца, видимых и невидимых звезд, туманностей в соответствующих диапазонах частот.

Взаимные (перекрестные, cross talk) помехи или наводки возникают при передаче информации по смежным каналам □ сигнал, переданный по одному каналу связи, создает нежелательный эффект в другом (возникает интерференция сигналов).

Наименее защищенными от влияния помех являются беспроводные каналы связи. На них действуют как внешние, так и перекрестные помехи. В беспроводных домашних сетях внешние помехи возникают от работающих микроволновых печей, компьютеров, сотовых телефонов и т.д. А перекрестные наводки связаны с помехами от другого беспроводного оборудования, работающего на той же частоте. Это особенно актуально в многоквартирных домах, где домашние сети в основном построены с использованием беспроводных технологий.

Среди кабельных каналов наиболее подвержены влиянию помех каналы на основе электрических кабелей. Для борьбы с помехами разработчики электрических кабелей используют: *экранирование (shielding)* и *скручивание проводников*. Экранирование используется для защиты от электромагнитных и радиопомех. Экран представляет собой металлическую оплетку или фольгу, которая окружает каждый провод или группу проводов в кабеле. Он действует как барьер для взаимодействующих сигналов.

Электрические кабели сами являются источником электромагнитного излучения, которое может вызывать перекрестные помехи. В кабелях на основе витой пары эти помехи известны как *перекрестные наводки на ближнем конце* (Near End Cross Talk, NEXT) и *перекрестные наводки на дальнем конце* (Far End Cross Talk, FEXT) и связаны с взаимным влиянием электромагнитных полей сигналов, передаваемых по разным парам проводников. Для подавления этих электромагнитных полей используется скручивание проводников витой пары.

Наиболее защищенными от помех являются оптические каналы. На волоконнооптические кабели не воздействуют электромагнитные помехи (EMI), радиочастотные помехи (RFI), молнии и скачки высокого напряжения. Также волоконно-оптические кабели не создают никаких электромагнитных или радиочастотных помех.

Чтобы шумы заметно не снижали качества передачи их влияние необходимо ограничивать. Методы борьбы с шумами заключаются в обеспечении такого уровня сигнала в месте приема, который бы обеспечил требуемое качество принимаемого сигнала.

Одним из важных параметров канала связи, позволяющим оценить мешающее воздействие помех на сигнал является **отношение сигнал/шум (SNR, Signal-to-Noise Ratio)**. Оно определяется как отношение мощности сигнала P_c к мощности шума (помех) $P_{ш}$ и выражается в децибелах (дБ):

$$SNR [\text{дБ}] = 10 \lg \left(\frac{P_c}{P_{ш}} \right),$$

где P_c – мощность сигнала; $P_{ш}$ – мощность шума (помех).

При этом чем больше отношение сигнал/шум, тем меньше шум влияет на полезный сигнал при его передаче по каналу связи и ведет к хорошему распознаванию сигнала приемником.

Для повышения помехоустойчивости канала связи применяются следующие методы:

- увеличение отношения сигнал/шум;
- расширение спектра сигнала;
- увеличение избыточности информации; □ применение помехоустойчивых кодов; □ фильтрация полезного сигнала.

Пропускная способность

Пропускная способность (throughput) канала связи □ максимально возможная *информационная* скорость передачи данных □ количество данных, которое может быть передано по каналу связи за единицу времени. Измеряется пропускная способность в битах в секунду (бит/с или bps □ bits per second).

Максимальная пропускная способность зависит от полосы пропускания канала связи и отношения сигнал/шум и может быть рассчитана по формуле Клода Шеннона:

$$C = F \log_2 \left(1 + \frac{P_c}{P_{ш}} \right),$$

где C – максимальная пропускная способность канала (бит/с); F – ширина полосы пропускания канала (Гц); P_c – мощность сигнала; $P_{ш}$ – мощность шума (помехи).

Как видно из формулы, пропускная способность канала может быть повышена за счет увеличения полосы пропускания F или увеличение отношения сигнал/шум. При этом первый способ более эффективен и менее трудоемок по сравнению со вторым, в связи с логарифмической зависимостью C от $P_c/P_{ш}$.

Реальная скорость передачи данных по каналу связи обычно меньше его *пропускной способности* и зависит от параметров каналообразующей аппаратуры, способов организации передачи данных, количества узлов, подключенных к каналу связи. Также на снижение скорости влияют накладные расходы, связанные с передачей по сети служебных сообщений, которые требуется для работы сетевых протоколов.

Следует понимать различие между информационной скоростью и символьной скоростью. *Информационная скорость* (information rate, bitrate) – это скорость передачи битов, измеряемая в бит/с и производных единицах. *Символьная скорость* (symbol rate) или *скорость модуляции* – это скорость изменения символов, измеряемая в бодах или символах в секунду. Каждый символ представляет один или несколько битов информации в зависимости от выбранного способа их кодирования.

Лабораторная работа №5, 6, 7, 8, 9, 10 (12 часов)

Тема: «Сетевая модель OSI»

Цель работы: изучить правила адресации сетевого уровня, научиться распределять адресамежду участниками сети передачи данных и организовывать маршрутизацию между сегментами сети. Изучить правила адресации сетевого уровня, научиться распределять адреса между участниками сети передачи данных и организовывать маршрутизацию между сегментами сети.

Задачи работы:

1. изучить сетевую модель OSI;
2. изучить правила адресации сетевого уровня на примере протокола IP;
3. изучить маршрутизацию IP.

Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. персональный компьютер, включенный в сеть IP, Microsoft Windows.

Описание (ход) работы:

Модель OSI описывает только системные средства взаимодействия, реализуемые операционной системой, системными утилитами, системными аппаратными средствами. Модель не включает средства взаимодействия приложений конечных пользователей.

Эта модель описывает функции семи иерархических уровней и интерфейсы взаимодействия между уровнями. Каждый уровень определяется сервисом, который он предоставляет вышестоящему уровню, и протоколом - набором правил и форматов данных для взаимодействия между собой объектов одного уровня, работающих на разных компьютерах.

Каждый уровень поддерживает интерфейсы с выше- и нижележащими уровнями. Ниже перечислены (в направлении сверху вниз) уровни модели OSI и указаны их общие функции.

Уровень приложения (Application) - интерфейс с прикладными процессами.

Уровень представления (Presentation) - согласование представления (форматов, кодировок) данных прикладных процессов.

Сеансовый уровень (Session) - установление, поддержка и закрытие логического сеанса связи между удаленными процессами.

Транспортный уровень (Transport) - обеспечение безошибочного сквозного обмена потоками данных между процессами во время сеанса.

Сетевой уровень (Network) - фрагментация и сборка передаваемых транспортным уровнем данных, маршрутизация и продвижение их по сети от компьютера-отправителя к компьютеру-получателю.

Канальный уровень (Data Link) - управление каналом передачи данных, управление доступом к среде передачи, передача данных по каналу, обнаружение ошибок в канале и их коррекция.

Физический уровень (Physical) - физический интерфейс с каналом передачи данных, представление данных в виде физических сигналов и их кодирование.

Принципы выделения этих уровней таковы: каждый уровень отражает надлежащий уровень абстракции и имеет строго определенную функцию. Эта функция выбиралась, прежде всего, так, чтобы можно было определить международный стандарт. Границы уровней выбирались так, чтобы минимизировать поток информации через интерфейсы.

Два самых низших уровня - физический и канальный - реализуются аппаратными и программными средствами, остальные пять более высоких уровней реализуются, как правило, программными средствами (рисунок 1).

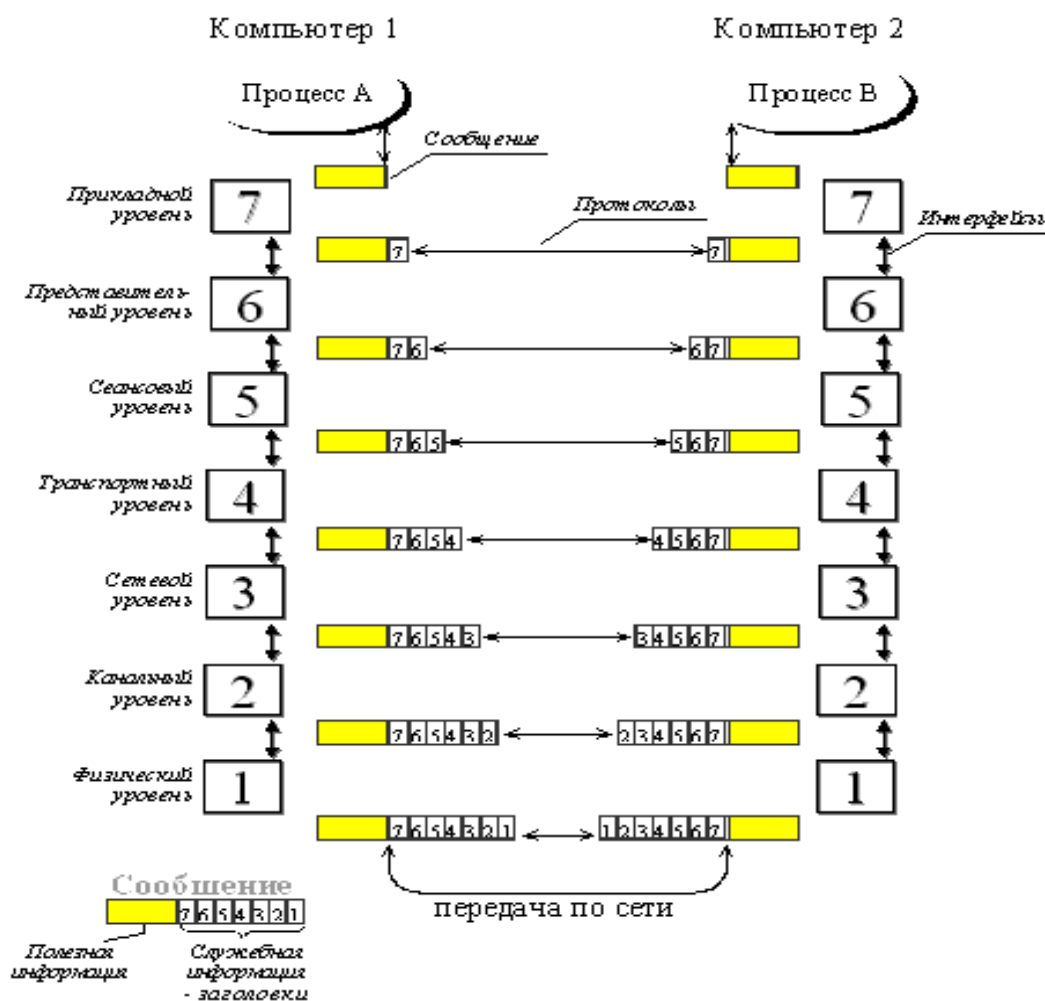


Рисунок 1 - Модель взаимодействия открытых систем ISO/OSI

При продвижении пакета данных по уровням сверху вниз каждый новый уровень добавляет к пакету свою служебную информацию в виде заголовка и, возможно, трейлера (информации, помещаемой в конец сообщения). Эта операция называется инкапсуляцией данных верхнего уровня в пакете нижнего уровня. Служебная информация предназначена для объекта того же уровня на удаленном компьютере, ее формат и интерпретация определяются протоколом данного уровня. Наконец, сообщение достигает нижнего, физического уровня, который, собственно, и передает его по линиям связи машине-адресату. К этому моменту сообщение "обрастает" заголовками всех уровней.

Когда сообщение по сети поступает на другую машину, оно последовательно перемещается вверх с уровня на уровень. Каждый уровень анализирует, обрабатывает и удаляет заголовок своего уровня, выполняет соответствующие данному уровню функции и передает сообщение вышележащему уровню. Тот в свою очередь рассматривает эти данные как пакет со своей служебной информацией и данными для верхнего уровня, и процедура повторяется, пока пользовательские данные, очищенные от всей служебной информации, не достигнут прикладного процесса.

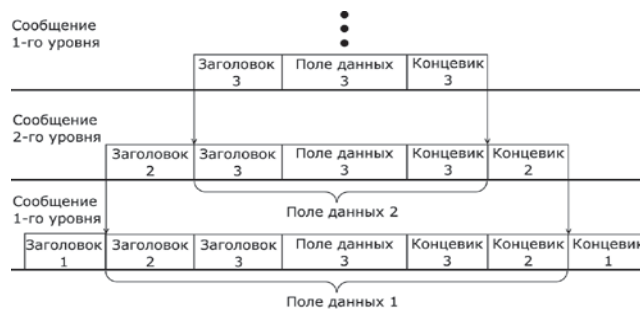


Рисунок 2 – Вложенность сообщений различных уровней

Кроме термина "сообщение" (message) существуют и другие названия, используемые сетевыми специалистами для обозначения единицы обмена данными. В стандартах ISO для протоколов любого уровня используется такой термин как "протокольный блок данных" - Protocol Data Unit (PDU). Кроме этого, часто используются названия кадр (frame), пакет (packet), дейтаграмма (datagram).

Теперь рассмотрим каждый уровень этой модели. Отметим что это модель, а не архитектура сети. Она не определяет протоколов и сервис каждого уровня. Она лишь говорит, что он должен делать.

Физический уровень. Этот уровень имеет дело с передачей битов по физическим каналам, таким, например, как коаксиальный кабель, витая пара или оптоволоконный кабель. К этому уровню имеют отношение характеристики физических сред передачи данных, такие как полоса пропускания, помехозащищенность, волновое сопротивление и другие. На этом же уровне определяются характеристики электрических сигналов, такие как требования к фронтам импульсов, уровням напряжения или тока передаваемого сигнала, тип кодирования, скорость передачи сигналов. Кроме этого, здесь стандартизируются типы разъемов и назначение каждого контакта.

Функции физического уровня реализуются во всех устройствах, подключенных к сети. Со стороны компьютера функции физического уровня выполняются сетевым адаптером или последовательным портом.

В обобщенном виде функции физического уровня заключаются в следующем:

- передача битов по физическим каналам;
- формирование электрических сигналов;
- кодирование информации;
- синхронизация;
- модуляция.

Этот уровень реализуется аппаратно. Примером протокола физического уровня может служить спецификация 10Base-T технологии Ethernet.

Канальный уровень. На физическом уровне просто пересылаются биты. При этом не учитывается, что в некоторых сетях, в которых линии связи используются (разделяются) попеременно несколькими парами взаимодействующих компьютеров, физическая среда передачи может быть занята. Поэтому одной из задач канального уровня является проверка доступности среды передачи. Другой задачей канального уровня является реализация механизмов обнаружения и коррекции ошибок. Для этого на канальном уровне биты группируются в наборы, называемые кадрами (frames). Канальный уровень обеспечивает корректность передачи каждого кадра, помещая специальную последовательность бит в начало и конец каждого кадра, чтобы отметить его, а также вычисляет контрольную сумму, суммируя все байты кадра определенным способом и добавляя контрольную сумму к кадру. Когда кадр приходит, получатель снова вычисляет контрольную сумму полученных данных и сравнивает результат с контрольной суммой из кадра. Если они совпадают, кадр считается правильным и принимается. Если же контрольные суммы не совпадают, то фиксируется ошибка. Необходимо отметить, что функция исправления ошибок для канального уровня не является обязательной, поэтому в некоторых протоколах этого уровня она отсутствует, например в Ethernet и Frame relay.

Функции канального уровня заключаются в следующем:

- надежная доставка пакета между двумя соседними станциями в сети с произвольной топологией, а также между любыми станциями в сети с типовой топологией;
- проверка доступности разделяемой среды;
- выделение кадров из потока данных, поступающих по сети;
- формирование кадров при отправке данных;
- подсчет и проверка контрольной суммы.

Этот уровень реализуется программно-аппаратно. В протоколах канального уровня, используемых в локальных сетях, заложена определенная структура связей между компьютерами и способы их адресации. Хотя канальный уровень и обеспечивает доставку кадра между любыми двумя узлами локальной сети, он это делает только в сети с совершенно определенной топологией связей, именно той топологией, для которой он был разработан. К таким типовым топологиям, поддерживаемым протоколами канального уровня локальных сетей, относятся общая шина, кольцо и звезда. Примерами протоколов канального уровня являются протоколы Ethernet, Token Ring, FDDI, 100VG-AnyLAN.

В локальных сетях протоколы канального уровня используются компьютерами, мостами, коммутаторами и маршрутизаторами. В компьютерах функции канального уровня реализуются совместными усилиями сетевых адаптеров и их драйверов.

В глобальных сетях, которые редко обладают регулярной топологией, канальный уровень обеспечивает обмен сообщениями между двумя соседними компьютерами, соединенными индивидуальной линией связи. Примерами протоколов "точка - точка" могут служить широко распространенные протоколы PPP и LAP-B.

Именно так организованы сети X.25. Иногда в глобальных сетях функции канального уровня в чистом виде выделить трудно, так как в одном и том же протоколе они объединяются с функциями сетевого уровня. Примерами такого подхода могут служить протоколы технологий ATM и Frame relay.

В целом канальный уровень представляет собой весьма мощный набор функций по пересылке сообщений между узлами сети.

Сетевой уровень служит для образования единой транспортной системы, объединяющей несколько сетей, причем эти сети могут использовать различные принципы передачи сообщений между конечными узлами и обладать произвольной структурой связей. Функции сетевого уровня достаточно разнообразны. Рассмотрим их на примере объединения локальных сетей.

Протоколы канального уровня локальных сетей обеспечивают доставку данных между любыми узлами только в сети с соответствующей типовой топологией, например топологией иерархической звезды. Это жесткое ограничение, которое не позволяет строить сети с развитой структурой, например сети, объединяющие несколько сетей предприятия в единую сеть, или высоконадежные сети, в которых существуют избыточные связи между узлами.

На сетевом уровне сам термин "сеть" наделяют специфическим значением. В данном случае под сетью понимается совокупность компьютеров, соединенных между собой в соответствии с одной из стандартных типовых топологий и использующих для передачи данных один из протоколов канального уровня, определенный для этой топологии.

Внутри сети доставка данных обеспечивается соответствующим канальным уровнем, а вот доставкой данных между сетями занимается сетевой уровень, который и поддерживает возможность правильного выбора маршрута передачи сообщения даже в том случае, когда структура связей между составляющими сетями имеет характер, отличный от принятого в протоколах канального уровня.

Сети соединяются между собой специальными устройствами, называемыми маршрутизаторами. Маршрутизатор — это устройство, которое собирает информацию о топологии межсетевых соединений и пересылает пакеты сетевого уровня в сеть назначения. Чтобы передать сообщение от отправителя, находящегося в одной сети, получателю, находящемуся в другой сети, нужно совершить некоторое количество транзитных передач между сетями, или хопов (от слова hop — прыжок), каждый раз выбирая подходящий маршрут. Таким образом, маршрут представляет собой последовательность маршрутизаторов, через которые проходит пакет.

Свойства сетевого уровня — доставка пакета:

- между любыми двумя узлами сети с произвольной топологией;
- между любыми двумя сетями в составной сети.

При этом, сеть — это совокупность компьютеров, использующих для обмена данными единую сетевую технологию; а маршрут — последовательность прохождения пакетом маршрутизаторов в составной сети.

На рисунке 3 показаны четыре сети, связанные тремя маршрутизаторами. Между узлами А и В данной сети пролегал два маршрута: первый — через маршрутизаторы 1 и 3, а второй — через маршрутизаторы 1, 2 и 3.

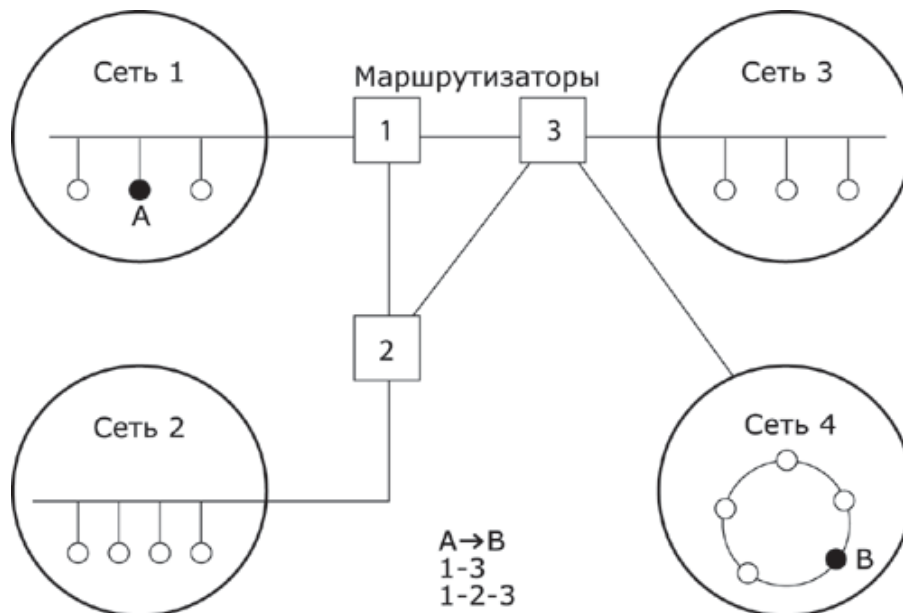


Рисунок 3 - Пример составной сети

В общем случае функции сетевого уровня шире, чем функции передачи сообщений по связям с нестандартной структурой, которые мы рассмотрели на примере объединения нескольких локальных сетей. Сетевой уровень также решает задачи согласования разных технологий, упрощения адресации в крупных сетях и создания надежных и гибких барьеров на пути нежелательного трафика между сетями.

Сообщения сетевого уровня принято называть пакетами (packet). При организации доставки пакетов на сетевом уровне используется понятие "номер сети". В этом случае адрес получателя состоит из старшей части — номера сети и младшей — номера узла в этой сети. Все узлы одной сети должны иметь одну и ту же старшую часть адреса, поэтому термину "сеть" на сетевом уровне можно дать и другое, более формальное, определение: сеть — это совокупность узлов, сетевой адрес которых содержит один и тот же номер сети.

На сетевом уровне определяется два вида протоколов. Первый вид — сетевые протоколы (routed protocols) — реализуют продвижение пакетов через сеть. Именно эти протоколы обычно имеют в виду, когда говорят о протоколах сетевого уровня. Однако часто к сетевому уровню относят и другой вид протоколов, называемых протоколами обмена маршрутной информацией или просто протоколами маршрутизации (routing protocols). С помощью этих протоколов маршрутизаторы собирают информацию о топологии межсетевых соединений. Протоколы сетевого уровня реализуются программными модулями операционной системы, а также программными и аппаратными средствами маршрутизаторов.

На сетевом уровне работают протоколы еще одного типа, которые отвечают за отображение адреса узла, используемого на сетевом уровне, в локальный адрес сети. Такие протоколы часто называют протоколами разрешения адресов — Address Resolution Protocol, ARP. Иногда их относят не к сетевому уровню, а к канальному, хотя тонкости классификации не изменяют сути.

Примерами протоколов сетевого уровня являются протокол межсетевого взаимодействия IP стека TCP/IP и протокол межсетевого обмена пакетами IPX стека Novell.

Транспортный уровень. На пути от отправителя к получателю пакеты могут быть искажены или утеряны. Хотя некоторые приложения имеют собственные средства обработки ошибок, существуют и такие, которые предпочитают сразу иметь дело с надежным соединением. Работа транспортного уровня заключается в том, чтобы обеспечить приложениям или верхним уровням стека - прикладному и сеансовому - передачу данных с той степенью надежности, которая им требуется. Модель OSI определяет пять классов сервиса, предоставляемых транспортным уровнем. Эти виды сервиса отличаются качеством предоставляемых услуг: срочностью, возможностью восстановления прерванной связи, наличием средств мультиплексирования нескольких соединений между различными прикладными протоколами через общий транспортный протокол, а главное - способностью к обнаружению и исправлению ошибок передачи, таких как искажение, потеря и дублирование пакетов.

Выбор класса сервиса транспортного уровня определяется, с одной стороны, тем, в какой степени задача обеспечения надежности решается самими приложениями и протоколами более высоких, чем транспортный, уровней, а с другой стороны, этот выбор зависит от того, насколько надежной является вся система транспортировки данных в сети. Так, например, если качество каналов передачи связи очень высокое, и вероятность возникновения ошибок, не обнаруженных протоколами более низких уровней, невелика, то разумно воспользоваться одним из облегченных сервисов транспортного уровня. Если же транспортные средства изначально очень ненадежны, то целесообразно обратиться к наиболее развитому сервису транспортного уровня, который работает, используя максимум средств для обнаружения и устранения ошибок - с помощью предварительного установления логического соединения, контроля доставки сообщений с помощью контрольных сумм и циклической нумерации пакетов, установления тайм-аутов доставки и т.п.

Т.о. функции транспортного уровня - это обеспечение доставки информации с требуемым качеством между любыми узлами сети:

- разбивка сообщения сеансового уровня на пакеты, их нумерация;
- буферизация принимаемых пакетов;
- упорядочивание прибывающих пакетов;
- адресация прикладных процессов;
- управление потоком.

Как правило, все протоколы, начиная с транспортного уровня и выше, реализуются программными средствами конечных узлов сети - компонентами их сетевых операционных систем. В качестве примера транспортных протоколов можно привести протоколы TCP и UDP стека TCP/IP и протокол SPX стека Novell.

Протоколы четырех нижних уровней обобщенно называют сетевым транспортом или транспортной подсистемой, так как они полностью решают задачу транспортировки сообщений с заданным уровнем качества в составных сетях с произвольной топологией и различными технологиями. Остальные три верхних уровня решают задачи предоставления прикладных сервисов на основании имеющейся транспортной подсистемы.

Сеансовый уровень. Сеансовый уровень (Session layer) обеспечивает управление диалогом: фиксирует, какая из сторон является активной в настоящий момент, предоставляет средства синхронизации. Последние позволяют вставлять контрольные точки в длинные передачи, чтобы в случае отказа можно было вернуться назад к последней контрольной точке, а не начинать все сначала. На практике немногие приложения используют сеансовый уровень, и он редко реализуется в виде отдельных протоколов, хотя функции этого уровня часто объединяют с функциями прикладного уровня и реализуют в одном протоколе.

Функции сеансового уровня - это управление диалогом объектов прикладного уровня:

- установление способа обмена сообщениями (дуплексный или полудуплексный);
- синхронизация обмена сообщениями;
- организация "контрольных точек" диалога.

Уровень представления. Этот уровень обеспечивает гарантию того, что информация, передаваемая прикладным уровнем, будет понятна прикладному уровню в другой системе. При необходимости уровень представления выполняет преобразование форматов данных в некоторый общий формат представления, а на приеме, соответственно, выполняет обратное

преобразование. Таким образом, прикладные уровни могут преодолеть, например, синтаксические различия в представлении данных. На этом уровне может выполняться шифрование и дешифрование данных, благодаря которому секретность обмена данными обеспечивается сразу для всех прикладных сервисов. Примером протокола, работающего на уровне представления, является протокол Secure Socket Layer (SSL), который обеспечивает секретный обмен сообщениями для протоколов прикладного уровня стека TCP/IP.

Уровень представления согласовывает представление (синтаксис) данных при взаимодействии двух прикладных процессов:

- преобразование данных из внешнего формата во внутренний;
- шифрование и расшифровка данных.

Прикладной уровень. Прикладной уровень - это в действительности просто набор разнообразных протоколов, с помощью которых пользователи сети получают доступ к разделяемым ресурсам, таким как файлы, принтеры или гипертекстовые Web-страницы, а также организуют свою совместную работу, например, с помощью протокола электронной почты. Единица данных, которой оперирует прикладной уровень, обычно называется *сообщением (message)*.

Существует очень большое разнообразие протоколов прикладного уровня. Среди них хотелось бы отметить такие как FTP, Telnet, HTTP.

Функции всех уровней модели OSI могут быть отнесены к одной из двух групп: либо к функциям, зависящим от конкретной технической реализации сети, либо к функциям, ориентированным на работу с приложениями.

Прикладной уровень - это набор всех сетевых сервисов, которые предоставляет система конечному пользователю:

- идентификация, проверка прав доступа;
- принт- и файл-сервис, почта, удаленный доступ.

Три нижних уровня - физический, канальный и сетевой - являются сетезависимыми, то есть протоколы этих уровней тесно связаны с технической реализацией сети, с используемым коммуникационным оборудованием.

Три верхних уровня - сеансовый, уровень представления и прикладной - ориентированы на приложения и мало зависят от технических особенностей построения сети. На протоколы этих уровней не влияют никакие изменения в топологии сети, замена оборудования или переход на другую сетевую технологию.

Транспортный уровень является промежуточным, он скрывает все детали функционирования нижних уровней от верхних уровней. Это позволяет разрабатывать приложения, независимые от технических средств, непосредственно занимающихся транспортировкой сообщений.

Рисунок 4 показывает уровни модели OSI, на которых работают различные элементы сети. Компьютер, с установленной на нем сетевой ОС, взаимодействует с другим компьютером с помощью протоколов всех семи уровней. Это взаимодействие компьютеры осуществляют через различные коммуникационные устройства. В зависимости от типа, коммуникационное устройство может работать либо только на физическом уровне (повторитель), либо на физическом и канальном (мост и коммутатор), либо на физическом, канальном и сетевом, иногда захватывая и транспортный уровень (маршрутизатор).

Модель OSI представляет хотя и очень важную, но только одну из многих моделей коммуникаций. Эти модели и связанные с ними стеки протоколов могут отличаться количеством уровней, их функциями, форматами сообщений, сервисами, предоставляемыми на верхних уровнях и прочими параметрами.

Поэтому модель OSI стоит рассматривать, в основном, как опорную базу для классификации и сопоставления протокольных стеков.

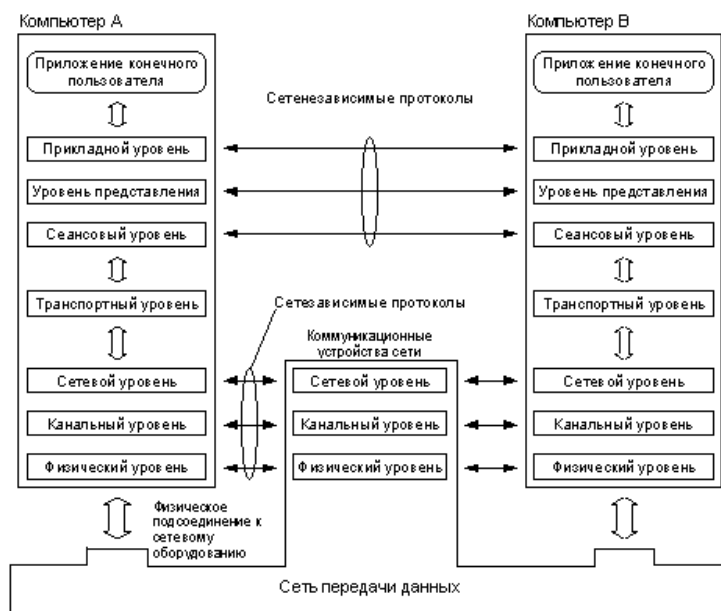


Рисунок 4 - Сетезависимые и сетезависимые уровни модели OSI

Протокол IP

Архитектуру сетевого уровня удобно рассматривать на примере сетевого протокола IP – самого распространенного в настоящее время, основного протокола сети Интернет. Термин «стек протоколов TCP/IP» означает «набор протоколов, связанных с IP и TCP(протоколом транспортного уровня)».

Архитектура протоколов TCP/IP предназначена для объединенной сети, состоящей из соединенных друг с другом шлюзами отдельных разнородных пакетных подсетей, к которым подключаются разнородные машины.

Каждая из подсетей работает в соответствии со своими специфическими требованиями и имеет свою природу средств связи. Однако предполагается, что каждая подсеть может принять пакет информации (данные с соответствующим сетевым заголовком) и доставить его по указанному адресу в этой конкретной подсети.

Не требуется, чтобы подсеть гарантировала обязательную доставку пакетов и имела надежный сквозной протокол.

Таким образом, две машины, подключенные к одной подсети, могут обмениваться пакетами.

Когда необходимо передать пакет между машинами, *подключенными к разным подсетям*, то машина-отправитель посылает пакет в соответствующий шлюз (шлюз подключен к подсети также как обычный узел). Оттуда пакет направляется по определенному маршруту через систему шлюзов и подсетей, пока не достигнет шлюза, подключенного к той же подсети, что и машина-получатель: там пакет направляется к получателю.

Таким образом, адрес получателя должен содержать в себе:

В номер (адрес) подсети;

В номер (адрес) участника (хоста) внутри подсети.

IP адреса представляют собой 32-х разрядные двоичные числа. Для удобства их

записывают в виде четырех десятичных чисел, разделенных точками. Каждое число является десятичным эквивалентом соответствующего байта адреса (для удобства будем записывать точки и в двоичном изображении).

192.168.200.47 является десятичным эквивалентом двоичного

Двоичное	Десятичное
10000000	128
11000000	192
11100000	224
11110000	240

адреса

11000000.10101000.11001000.00101111

Иногда применяют десятичное значение IP-адреса. Его
легко вычислить

11111000	248
11111100	252
11111110	254
11111111	255

$$192*256^3+168*256^2+200*256+47=3232286767$$

или с помощью метода Горнера :

$$(((192*256)+168)*256+200)*256+47=3232286767$$

Количество разрядов *адреса подсети* может быть различным и определяется *маской сети*.

Маска сети также является 32-х разрядным двоичным числом. Разряды маски имеют следующий смысл: если разряд маски равен 1, то соответствующий разряд адреса является разрядом адреса подсети, а если 0, то разрядом хоста внутри подсети. Все единичные разряды маски (если они есть) находятся в старшей (левой) части маски, а нулевые (если они есть) – в правой (младшей).

Исходя из вышесказанного, маску часто записывают в виде числа единиц в ней содержащихся.

255.255.248.0 (11111111.11111111.11111000.00000000) – является правильной маской подсети (/21), а **255.255.250.0 (11111111.11111111.11111010.00000000)** – является неправильной, недопустимой.

Нетрудно увидеть, что *максимальный размер подсети* может быть только степенью двойки (двойку надо возвести в степень, равную количеству нулей в маске).

При передаче пакетов используются *правила маршрутизации*, главное из которых звучит так: «Пакеты участникам своей подсети доставляются напрямую, а остальным – по другим правилам маршрутизации».

Таким образом, требуется определить, является ли получатель членом нашей подсети или нет.

1. **Определение диапазона адресов подсети.**

Определение диапазона адресов подсети можно произвести из определения понятия маски:

В те разряды, которые относятся к адресу подсети, у всех хостов подсети должны быть *одинаковы*;

В адреса хостов в подсети могут быть *любыми*.

То есть, если наш адрес **192.168.200.47** и маска равна /20, то диапазон можно посчитать:

11000000.10101000.11001000.00101111 –адрес
11111111.11111111.11110000.00000000 –маска
11000000.10101000.1100XXXX.XXXXXXXX –диапазон
адресов

где 0,1 – определенные значения
разрядов, X – любое значение,

Что приводит к диапазону адресов:

от **11000000.10101000.11000000.00000000 (192.168.192.0)**
до **11000000.10101000.11001111.11111111**
(192.168.207.255)

Следует учитывать, что некоторые адреса являются запрещенными или служебными и их нельзя использовать для адресов хостов или подсетей. Это адреса, содержащие:

2. **0** впервомилипоследнембайте,
 3. **255** влюбомбайте (это широковещательные адреса),
 4. **127** впервомбайте (внутренняя петля – этот адрес имеется в каждом хосте и служит для связывания компонентов сетевого уровня). Поэтому доступный диапазон адресов будет несколько меньше.
- Задания для самостоятельного решения:**
1. Какие адреса из приведенного ниже списка являются допустимыми адресами хостов:
0.10.10.10
10.0.10.10
10.10.0.10
10.10.10.10
127.0.127.127
127.0.127.0
255.0.200.1
1.255.0.0
 2. Перечислите все допустимые маски.
 3. Определите диапазоны адресов подсетей (даны адрес хоста и маска подсети):
10.212.157.12/24
27.31.12.254/31
192.168.0.217/28
10.7.14.14/16
 4. Какие из адресов
241.253.169.212
243.253.169.212
242.252.169.212
242.254.169.212
242.253.168.212
242.253.170.212
242.253.169.211
242.253.169.213
будут достигнуты напрямую с хоста **242.254.169.212/21**
 5. Посмотрите параметры IP на своем компьютере с помощью команды **ipconfig**. Определите диапазон адресов и размер подсети, в которой Вы находитесь. Попробуйте объяснить, почему выбраны такие сетевые параметры и какие сетевые параметры выбрали бы Вы.

Вопросы для проверки:

1. Чем занимается сетевой уровень?
2. Что такое сеть передачи данных?
3. Какие требования предъявляются к сетевой адресации?
4. Можно ли использовать в качестве сетевого MAC-адрес?
5. Что такое маска подсети,?
6. Какова структура IP-адреса?
7. Чем определяется размер подсети?
8. Как определить диапазон адресов в подсети?
9. Как определить размер подсети?

Сетевой уровень отвечает за возможность доставки пакетов по сети передачи данных – совокупности сегментов сети, объединенных в единую сеть любой сложности посредством узлов связи, в которой имеется возможность достижения из любой точки сети в любую другую.

Архитектуру сетевого уровня удобно рассматривать на примере сетевого протокола IP – самого распространенного в настоящее время, основного протокола сети Интернет. Термин «стек протоколов TCP/IP» означает «набор протоколов, связанных с IP и TCP(протоколом транспортного уровня)».

Архитектура протоколов TCP/IP предназначена для объединенной сети, состоящей из соединенных друг с другом шлюзами отдельных разнородных пакетных подсетей, к которым подключаются разнородные машины.

Каждая из подсетей работает в соответствии со своими специфическими требованиями и имеет свою природу средств связи.

Однако предполагается, что каждая подсеть может принять пакет информации (данные с соответствующим сетевым заголовком) и доставить его по указанному адресу в этой конкретной подсети. Не требуется, чтобы подсеть гарантировала обязательную доставку пакетов и имела надежный сквозной протокол. Таким образом, две машины, подключенные к одной подсети, могут обмениваться пакетами.

Когда необходимо передать пакет между машинами, подключенными к разным подсетям, то машина-отправитель посылает пакет в соответствующий *шлюз* (шлюз подключен к подсети также как обычный узел). *Шлюз (gateway)*– любое сетевое оборудование с несколькими сетевыми интерфейсами и осуществляющее продвижение пакетов между сетями на уровне протоколов сетевого уровня.

Из шлюза пакет направляется по определенному *маршруту* через систему *шлюзов* и подсетей, пока не достигнет шлюза, подключенного к той же подсети, что и машина-получатель; там пакет направляется к получателю.

Таким образом, шлюз выполняет *маршрутизацию* – процедуру нахождения в структуре сети пути достижения получателя (построение пути доставки пакетов).

Если хост подключен к нескольким сетям, он должен иметь несколько сетевых адресов, как минимум столько, сколько каналов к нему подключено.

Маршрутизация производится по *правилам маршрутизации*, сведенным в *таблицу маршрутизации*.

Даже если хост не является шлюзом между подсетями, все равно в нем присутствует таблица маршрутизации, ведь любой хост должен отправлять пакеты напрямую членам своей подсети, через какой-то шлюз другим подсетям и не передавать в сеть пакеты, предназначенные самому себе (заворачивать их по внутренней петле 127.0.0.1).

Таблица маршрутизации имеет следующий вид:

Сетевой адрес	Маска сети	Адрес шлюза	Интерфейс	Метрика
0.0.0.0	0.0.0.0	192.168.200.1	192.168.200.47	30
127.0.0.0	255.0.0.0	127.0.0.1	127.0.0.1	1
192.168.192.0	255.255.240.0	192.168.200.47	192.168.200.47	30
192.168.200.47	255.255.255.255	127.0.0.1	127.0.0.1	30
192.168.200.255	255.255.255.255	192.168.200.47	192.168.200.47	30
224.0.0.0	240.0.0.0	192.168.200.47	192.168.200.47	30
255.255.255.255	255.255.255.255	192.168.200.47	192.168.200.47	1

Сетевой адрес - начальный адрес подсети, порядок достижения которой описывает правило.

Маска сети - маска подсети, которую описывает правило.

Адрес шлюза- показывает, на какой адрес будут посланы пакеты, идущие в сеть назначения. Если пакеты будут идти напрямую, то указывается собственный адрес (точнее тот адрес того канала, через который будут

передаваться пакеты).

Интерфейс - указывает адрес канала, через который будут передаваться пакеты.

Интерфейс *всегда принадлежит хосту*, на котором находится правило.

Метрика - определяет время, за которое пакет достигнет сети назначения.

Правила применяются в порядке уменьшения масок.

Правила с равными масками применяются в порядке увеличения метрики.

Применение правила заключается в определении, принадлежит ли хост назначения сети, указанной в правиле, и если принадлежит, то пакет отправляется на адрес шлюза через интерфейс.

Рассмотрим вышеприведенную таблицу маршрутизации, пересортировав правила:

Сетевой адрес	Маска сети	Адрес шлюза	Интерфейс	Метрика
255.255.255.255	255.255.255.255	192.168.200.47	192.168.200.47	1
192.168.200.47	255.255.255.255	127.0.0.1	127.0.0.1	30
192.168.200.255	255.255.255.255	192.168.200.47	192.168.200.47	30
192.168.192.0	255.255.240.0	192.168.200.47	192.168.200.47	30
127.0.0.0	255.0.0.0	127.0.0.1	127.0.0.1	1
224.0.0.0	240.0.0.0	192.168.200.47	192.168.200.47	30
0.0.0.0	0.0.0.0	192.168.200.1	192.168.200.47	30
255.255.255.255	255.255.255.255	192.168.200.47	192.168.200.47	1

Обратите внимание на маску сети в первом правиле. Она описывает подсеть размером в 1 хост с адресом **255.255.255.255** – это *широковещательный* адрес. Пакеты будут посылаться на адрес **192.168.200.47** через интерфейс **192.168.200.47**. Это наш адрес, т.е. пакеты будут отправляться напрямую.

192.168.200.255 255.255.255.255 192.168.200.47 192.168.200.47 30

Опять широковещательный адрес. Смотри предыдущий комментарий.

192.168.200.47 255.255.255.255 127.0.0.1 127.0.0.1 30

Опять такая же маска, но адрес нашего хоста. Отправлять будем через внутреннюю петлю.

192.168.192.0 255.255.240.0 192.168.200.47 192.168.200.47 30

А вот и наша подсеть. Отправляем напрямую.

127.0.0.0 255.0.0.0 127.0.0.1 127.0.0.1 1

Все, что начинается со 127, отправляем через внутреннюю петлю.

224.0.0.0 240.0.0.0 192.168.200.47 192.168.200.47 30

Класс D – отправляем напрямую.

0.0.0.0 0.0.0.0 192.168.200.1 192.168.200.47 30

Самое интересное правило. Маска покрывает ВСЕ возможные адреса! Пакеты отправляются через наш интерфейс на адрес **192.168.200.1**. Правило применяется последним, поэтому его можно озвучить так: по всем адресам, которые не подошли по предыдущим правилам, пакеты отправляем на адрес **192.168.200.1**

Такой адрес обычно имеется в любой сети и называется **шлюзом по умолчанию(default gateway)**. Этот адрес скрывает от хостов и пользователей структуру сети и позволяет упростить таблицы маршрутизации и снять нагрузку с хостов, перенеся маршрутизацию на специально выделенные шлюзы – маршрутизаторы.

Нетрудно догадаться, что все адреса в колонке **Адрес шлюза** должны достигаться напрямую, т.е. входить в нашу подсеть.

Для работы с таблицами маршрутизации в составе ОС имеется программа **route**.

Одной из основных задач, стоящих при проектировании сетей, является распределение по подсетям сетевых адресов из заданного диапазона, т.е. разделение сети на подсети.

При разделении сети на подсети следует учитывать следующие правила:

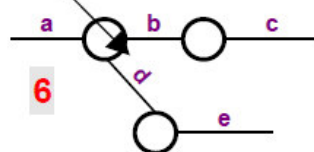
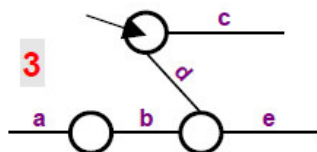
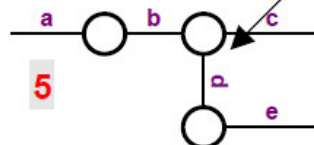
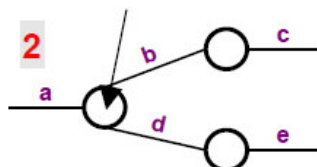
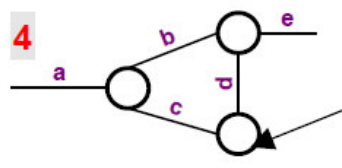
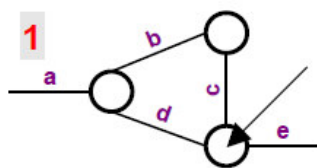
- размер подсетей должен быть *степенью двойки*
- имеются *запрещенные адреса*
- начальный адрес подсети должен быть *кратен ее размеру*

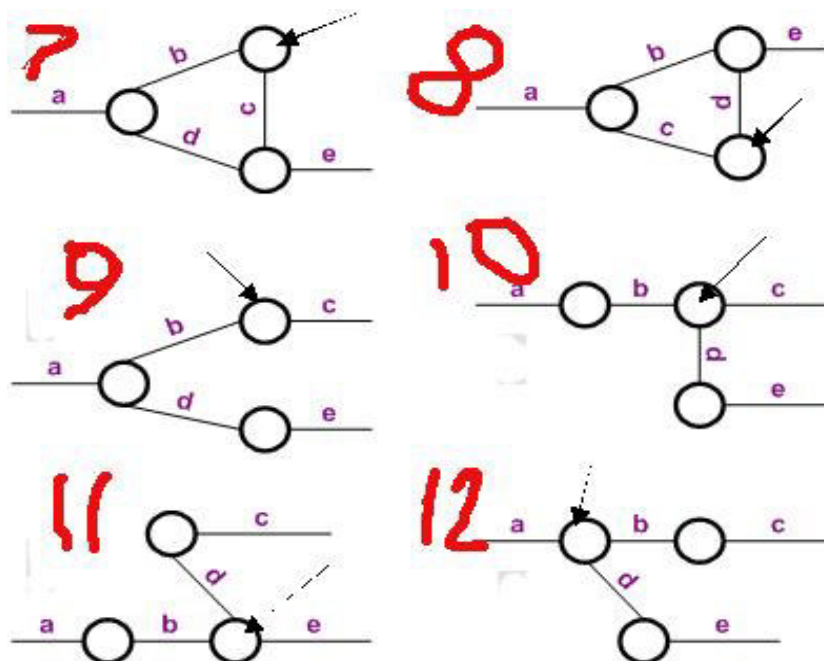
В качестве шлюза по умолчанию можно использовать *любой* узел, но, исходя из увеличения пропускной способности сети и уменьшения времени передачи пакетов, следует в качестве шлюза по умолчанию использовать либо ближайший узел, либо узел, соединенный с максимальным количеством сетей, т.е. следует учитывать *топологию* сети.

Задания для самостоятельного решения:

1. С помощью программы **route print** посмотрите таблицу маршрутизации Вашего компьютера. Объясните все правила.
2. Посмотрите таблицу маршрутизации хоста, имеющего несколько каналов. Объясните все правила.
3. Посмотрите таблицу маршрутизации маршрутизатора. Объясните все правила.
4. Добавьте новое правило в таблицу маршрутизации для сети **192.168.0.0/24** через шлюз в вашей сети с последним байтом в адресе **125** и метрикой **12**
5. Удалите это правило.
6. В соответствии с таблицей и схемами выполните задание на распределение адресов по подсетям (согласно варианта). Постройте таблицы маршрутизации для всех шлюзов и для одного хоста для каждого сегмента.

№ варианта	Количество хостов в подсети					Диапазон адресов	
	a	b	c	d	e	от	до
1	5	10	20	15	50	10.0.20.0	10.0.20.255
2	20	15	6	70	25	192.168.0.0	192.168.0.255
3	15	25	5	40	5	112.38.25.128	112.38.25.255
4	24	32	8	10	2	196.13.49.0	196.13.49.128
5	50	16	64	20	15	68.76.115.0	68.76.115.255
6	40	6	10	12	5	211.3.45.0	211.3.45.128
7	5	10	20	15	50	10.0.20.0	10.0.20.255
8	16	12	8	60	20	92.190.0.0	92.190.0.255
9	30	15	7	20	8	34.40.25.128	34.40.25.255
10	34	22	15	3	2	76.17.46.0	76.17.46.128
11	30	26	54	30	15	8.71.15.0	8.71.15.255
12	30	16	6	16	5	71.5.55.0	71.5.55.128





7. Разделите сеть, состоящую из трех сегментов, имеющую диапазон адресов 192.168.0.32
– 192.168.0.159 на подсети, содержащие 64, 20 и 44 хостов (включая шлюзы).

Вопросы для проверки:

1. Сколько адресов может иметь хост?
2. Может ли у хоста быть прописано несколько шлюзов и почему?
3. Может ли у хоста быть прописано несколько шлюзов по умолчанию и почему?
4. Чем отличаются таблицы у разных классов сетевых устройств и почему?
5. Почему начальный адрес подсети должен быть кратен ее размеру?
6. Чем Вы руководствовались при выборе шлюзов по умолчанию?
7. Может ли физический сегмент сети содержать несколько сетевых подсетей?

Лабораторная работа № 11, 12, 13 (6 часов)

Тема: «Протоколы и алгоритмы маршрутизации»

Цель работы: получить сведения о маршрутизации и научиться добавлять маршруты в таблицу маршрутизации.

Задачи работы:

1. Научиться работать с таблицей маршрутизацией.

Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Аппаратные: компьютер с установленной ОС Windows.
2. Программные: Приложения VM: VirtualBox; Виртуальные машины: VM-1.

Описание (ход) работы:

В сетях, основанных на протоколе IP, *концепция маршрутизации* является одной из важных. Она создает или разбивает сеть. Неправильная конфигурация маршрутизации способна вывести из строя сеть.

Маршрутизация – технология определения пути доставки (маршрута) пакетов. Основные принципы маршрутизации:

1. Каждая операционная система, поддерживающая стек **TCP/IP**, имеет маршрутизатор и таблицу маршрутизации.
2. Таблица маршрутизации используется только тогда, когда определяется, как доставлять пакеты.
3. Маршрутизация должна быть сконфигурирована корректно на обоих концах связи и на каждом участке между ними.

Для определения пути доставки пакета используется *таблица маршрутизации*.

Пример таблицы маршрутизации можно получить командой **route** с параметром *print*.

Активные маршруты:				
Сетевой адрес	Маска сети	Адрес шлюза	Интерфейс	Метрика
Network Destination	Netmask	Gateway	Interface	Metric
0.0.0.0	0.0.0.0	192.168.4.1	192.168.4.7	1
127.0.0.0	255.0.0.0	127.0.0.1	127.0.0.1	1
192.168.4.0	255.255.255.0	192.168.4.7	192.168.4.7	1
192.168.4.7	255.255.255.255	127.0.0.1	127.0.0.1	1
192.168.4.255	255.255.255.255	192.168.4.7	192.168.4.7	1
224.0.0.0	224.0.0.0	192.168.4.7	192.168.4.7	1
255.255.255.255	255.255.255.255	192.168.4.7	192.168.4.7	1
Основной шлюз:	192.168.1.1			

Рисунок 1. Пример таблицы маршрутизации

В общем случае для маршрутизации используется следующий алгоритм. Из пакета извлекается IP-адрес назначения пакета и производится попытка сопоставить его с адресом назначения (*Сетевой адрес*) каждого элемента таблицы маршрутизации пока не найдется наилучшее совпадение. Если совпадений не найдено, то пакет удаляется и отправителю пакета может отправиться сообщение об ошибке. Сравнение производится с тремя порциями информации: **Сетевой адрес** (*Network Destination*), **Маска сети** (*Netmask*) и **IP-адрес назначения пакета**.

В основном, производится побитная операция **AND** между **IP-адресом** получателя и **Маской сети (Netmask)**: если полученное значение равно **Сетевому адресу (Network Destination)**, то считается, что совпадение найдено.

Пример 1. Необходимо проверить почту на сервере, чей адрес **192.168.4.100** (используется таблица маршрутизации приведенная ранее). Необходимо выполнить побитную операцию **AND** над **IP-адресом получателя пакетов** и **сетевыми масками (Netmask)** из таблицы маршрутизации. Эта операция производится над всем масками из таблицы маршрутизации. Но в рассматриваемом примере только 3-я строка наиболее подходит.

	1-й октет								2-й октет								3-й октет								4-й октет								
биты	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ID-сети																												ID-узла				
IP-адрес	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
десятичная запись	192								168								4								100								
Маска	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
десятичная запись	255								255								255								0								
Результат операции AND																																	
десятичная запись	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	192								168								4								0								

Рисунок 2. Пример определения маршрута доставки пакетов

Как видно из приведенной таблицы, результат побитной операции **AND** совпадает с 3-й строкой таблицы маршрутизации (Рисунок 2). Следовательно, пакет отправится по указанному маршруту через интерфейс **192.168.4.7**.

Следует отметить, что указанный в примере IP-адрес после выполнения побитной операции **AND** над масками совпадет больше чем с одной строкой маршрутизации. Для избежания таких случаев используется *приоритет маршрутов*. Система ищет более точное совпадение адреса с маской (255.255.255.255 более точна, чем 255.255.255.0, которая в свою очередь, более точна, чем 0.0.0.0). Маршрут с сетевым адресом 0.0.0.0 и маской 0.0.0.0 является *маршрутом по умолчанию*. Так как этот маршрут подходит к любому адресу назначения, он описывает маршрут, который используется, если не найден более подходящий. Обычно этот маршрут используется для пересылки пакетов провайдеру Интернет-услуг, при подключении к Интернету.

Для работы с таблицей маршрутизации используется стандартная утилита **ROUTE**, которая выводит на экран и изменяет записи в локальной таблице IP-маршрутизации.

Запущенная без параметров, команда **route** выводит справку.

Параметр	Описание
add	Добавление маршрута
change	Изменение существующего маршрута
delete	Удаление маршрута или маршрутов
print	Печать маршрута или маршрутов

Таблица 1. Назначение параметров команды **route**

Пример 2. Добавление маршрута.

route ADD 172.25.0.0 MASK 255.255.0.0 192.168.1.8 METRIC



Рисунок 3. СТрока длядобавление маршрута

Задание 1. Создайте таблицу для облегчения определения маршрутов.

1. Откройте **табличный процессор** и сформируйте таблицу по следующему шаблону:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG
1		7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0
2	IP-адрес	192								168								252								56							
3	двоичная запись	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
4	Маска	255								255								255								7							
5	двоичная запись	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
6	Операция AND	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	Адрес назначения																																

Рисунок 4. Образец оформления таблицы

2. Введите в диапазон ячеек **Z3:AG3** формулы для перевода числа в десятичной системе счисления из ячейки **Z2** в двоичную форму (в соответствии с таблицей).

Таблица 2. Формулы для перевода в двоичную систему счисления

Имя Ячейки	Формула
AG3	=Z2-2*INT(Z2/2)
AF3	=INT(Z2/2)-2*INT(INT(Z2/2)/2)
AE3	=INT(INT(Z2/2)/2)-2*INT(INT(INT(Z2/2)/2)/2)
AD3	=INT(INT(INT(Z2/2)/2)/2)-2*INT(INT(INT(INT(Z2/2)/2)/2)/2)
AC3	=INT(INT(INT(INT(Z2/2)/2)/2)/2)-2*INT(INT(INT(INT(INT(Z2/2)/2)/2)/2)/2)
AB3	=INT(INT(INT(INT(INT(INT(Z2/2)/2)/2)/2)/2)-2*INT(INT(INT(INT(INT(INT(Z2/2)/2)/2)/2)/2)/2)
AA3	=INT(INT(INT(INT(INT(INT(INT(Z2/2)/2)/2)/2)/2)/2)-2*INT(INT(INT(INT(INT(INT(INT(Z2/2)/2)/2)/2)/2)/2)/2)
Z3	=INT(INT(INT(INT(INT(INT(INT(INT(Z2/2)/2)/2)/2)/2)/2)/2)/2)

3. Аналогично введите формулы для преобразования чисел из десятичной системы счисления в двоичную для ячеек **R2,J2,B2**.
4. Аналогично введите формулы для преобразования маски подсети в двоичную систему счисления.
5. Введите формулы для побитной операции **AND** над **IP-адресом** и **маской (Netmask)**:
 - введите в ячейку **AG6** формулу =AND(AG3;AG5);
 - скопируйте введенную формулу в диапазон ячеек **B6:AF6**.
6. Введите в ячейку **Z7** формулу для преобразования 4-го октета маски в десятичную систему счисления

$$=AG6*2^{\wedge}AL1+AF6*2^{\wedge}AF1+AE6*2^{\wedge}AE1+AD6*2^{\wedge}AD1+AC6*2^{\wedge}AC1+AB6*2^{\wedge}AB1+AA6*2^{\wedge}AA1+Z6*2^{\wedge}Z1.$$

7. Аналогично введите формулы для ячеек **R7, J7, B8**.
8. Сохраните файл в своем каталоге с именем **ROUTE**.

Задание 2. Создайте новый маршрут для вашего компьютера и проследите его.

1. Запустите виртуальную машину **VM-1** и загрузите ОС **Windows**.
2. Откройте **консоль (Пуск/Программы/Стандартные/Командная строка)**.
3. Определите IP-адрес вашего компьютера с помощью утилиты **ipconfig**.
4. Просмотрите таблицу маршрутизации на вашем компьютере:
 - выведите справку по команде **route** (для этого необходимо ввести команду и нажать клавишу **ENTER**);

```
route
```

- выведите таблицу маршрутизации командой **route** с параметром **PRINT**:
route PRINT

- запомните маршрут по умолчанию (первая строка).

Активные маршруты:

Сетевой адрес	Маска сети	Адрес шлюза	Интерфейс	Метрика
0.0.0.0	0.0.0.0	192.168.1.1	192.168.1.2	20
127.0.0.0	255.0.0.0	127.0.0.1	127.0.0.1	1
192.168.1.0	255.255.255.0	192.168.1.2	192.168.1.2	20
192.168.1.2	255.255.255.255	127.0.0.1	127.0.0.1	20
192.168.1.255	255.255.255.255	192.168.1.2	192.168.1.2	20
192.168.127.0	255.255.255.0	192.168.127.1	192.168.127.1	20
192.168.127.1	255.255.255.255	127.0.0.1	127.0.0.1	20
192.168.127.255	255.255.255.255	192.168.127.1	192.168.127.1	20
192.168.245.0	255.255.255.0	192.168.245.1	192.168.245.1	20
192.168.245.1	255.255.255.255	127.0.0.1	127.0.0.1	20
192.168.245.255	255.255.255.255	192.168.245.1	192.168.245.1	20
224.0.0.0	240.0.0.0	192.168.1.2	192.168.1.2	20
224.0.0.0	240.0.0.0	192.168.127.1	192.168.127.1	20
224.0.0.0	240.0.0.0	192.168.245.1	192.168.245.1	20
255.255.255.255	255.255.255.255	192.168.1.2	192.168.1.2	1
255.255.255.255	255.255.255.255	192.168.127.1	192.168.127.1	1
255.255.255.255	255.255.255.255	192.168.127.1	4	1
255.255.255.255	255.255.255.255	192.168.245.1	192.168.245.1	1

Основной шлюз: 192.168.1.1

Рисунок 5. Пример вывода программы **ROUTE**

5. Проследите работу маршрутизатора с помощью утилиты **TRACERT**, отправив пакеты на узел **www.opennet.ru**. Введите:

```
tracert www.opennet.ru
```

Трассировка маршрута к www.opennet.ru [82.98.86.168]
с максимальным числом прыжков 30:

1	1 ms	<1 ms	<1 ms	192.168.1.1
2	20 ms	87 ms	17 ms	ads1-gw.polarnet.ru [213.142.223.252]
3	30 ms	20 ms	19 ms	10.254.254.2
4	19 ms	17 ms	20 ms	cisco1.polarnet.ru [213.142.193.94]

Рисунок 6. Пример вывода программы **TRACERT**

6. Следует отметить, что пакеты на указанный сайт отправляются через один шлюз (**192.168.1.1**), который видно в первых строках вывода программ **ROUTE** и **TRACERT**.
7. Добавьте в таблицу маршрутизации компьютера строку для пересылки пакетов в сеть **172.21.0.0** (маска **255.255.0.0**) через сетевой интерфейс компьютера. Введите:

```
route add 172.21.0.0 mask 255.255.0.0 192.168.1.4 METRIC 3
```

8. Проверьте работу внесенных вами изменений с помощью утилиты **TRACERT**.

Самостоятельные задания.

1. Сформируйте маски подсети таким образом, чтобы получались сети, в которых количество уникальных адресов составляют 256, 2048, 32768.
2. Определите маршруты для пакетов в соответствии с таблицей маршрутизации, приведенной в теоретической части лабораторной работы. Результат оформите в виде таблицы и сохраните в своей папке.

Таблица маршрутизации		
IP-адреса пакетов	Адрес шлюза	Интерфейс
10.1.1.1		
192.168.4.121		
127.13.13.210		
192.168.5.121		

Лабораторная работа № 14, 15 (4 часа)

Тема: «Методы кодирования»

Цель работы: изучить способы кодирования информации в вычислительных сетях.

Задачи работы:

1. рассмотреть методы физического кодирования;
2. ознакомиться с методами повышения помехоустойчивости передачи и приема;
3. разработать программу для кодирования информации.

Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Компьютерная ЛВС.

Описание (ход) работы:

1. Методы физического кодирования

При выборе способа кодирования нужно одновременно стремиться к достижению нескольких целей:

- минимизировать ширину спектра сигнала, полученного в результате кодирования;
- обеспечивать синхронизацию между передатчиком и приемником;
- обеспечивать устойчивость к шумам;
- обнаруживать и по возможности исправлять битовые ошибки;
- минимизировать мощность передатчика.

Более узкий спектр сигнала позволяет на одной и той же линии (с одной и той же полосой пропускания) добиваться более высокой скорости передачи данных. Спектр сигнала в общем случае зависит как от способа кодирования, так и от тактовой частоты передатчика.

Требования, предъявляемые к методам кодирования, являются взаимно противоречивыми, поэтому каждый из рассматриваемых далее популярных методов кодирования обладает своими достоинствами и недостатками в сравнении с другими.

Метод биполярного кодирования с альтернативной инверсией (AMI)

Одной из модификаций метода NRZ является метод биполярного кодирования с альтернативной инверсией (Bipolar Alternate Mark Inversion, AMI). В этом методе используются три уровня потенциала — отрицательный, нулевой и положительный. Для кодирования логического нуля используется нулевой потенциал, а логическая единица кодируется либо положительным потенциалом, либо отрицательным, при этом потенциал каждой новой единицы противоположен потенциалу предыдущей.

Код AMI частично ликвидирует проблемы постоянной составляющей и отсутствия самосинхронизации, присущие коду NRZ. Это происходит при передаче длинных последовательностей единиц. В этих случаях сигнал на линии представляет собой последовательность разнополярных импульсов с тем же спектром, что и у кода NRZ, передающего чередующиеся нули и единицы, то есть без постоянной составляющей и с основной гармоникой $N/2$ Гц (где N — битовая скорость передачи данных). Длинные же последовательности нулей также опасны для кода AMI, как и для кода NRZ — сигнал вырождается в постоянный потенциал нулевой амплитуды. Поэтому код AMI требует дальнейшего улучшения.

Потенциальный код с инверсией при единице (NRZI)

Существует код, похожий на AMI, но только с двумя уровнями сигнала. При передаче нуля он передает потенциал, который был установлен в предыдущем такте (то есть не меняет его), а при передаче единицы потенциал инвертируется на противоположный. Этот код называется потенциальным кодом с инверсией при единице (Non Return to Zero with ones Inverted, NRZI). Этот код удобен в тех случаях, когда

использование третьего уровня сигнала весьма нежелательно, например в оптических кабелях, где устойчиво распознаются два состояния сигнала - свет и темнота. Для улучшения потенциальных кодов, подобных AMI и NRZI, используются два метода. Первый метод основан на добавлении в исходный код избыточных бит, содержащих логические единицы. В этом случае длинные последовательности 0-ей прерываются, и код становится самосинхронизирующимся для любых передаваемых данных. Исчезает также постоянная составляющая, а значит, еще более сужается спектр сигнала. Но этот метод снижает полезную пропускную способность линии, так как избыточные единицы пользовательской информации не несут.

Манчестерский код

Манчестерский код (или код Манчестер-II) получил наибольшее распространение в локальных сетях. Он также относится к самосинхронизирующимся кодам, имеет два уровня, что способствует его лучшей помехозащищенности и упрощению приемных и передающих узлов. Логическому нулю соответствует положительный переход в центре битового интервала (то есть первая половина битового интервала – низкий уровень, вторая половина – высокий), а логической единице соответствует отрицательный переход в центре битового интервала (или наоборот).

Обязательное наличие перехода в центре бита позволяет приемнику манчестерского кода легко выделить из пришедшего сигнала синхросигнал и передать информацию сколь угодно большими последовательностями без потерь из-за рассинхронизации.

Потенциальный код 2B1Q

Код 2B1Q его название отражает суть — каждые два бита (2B) передаются за один такт (1) сигналом, имеющим четыре состояния (Q — Quadra). Паре битов 00 соответствует потенциал -2,5 В, паре 01 — потенциал -0,833 В, паре 11 — потенциал +0,833 В, а паре 10 — потенциал +2,5 В.

При этом способе кодирования требуются дополнительные меры по борьбе с длинными последовательностями одинаковых пар битов, так как при этом сигнал превращается в постоянную составляющую. При случайном чередовании битов спектр сигнала в два раза уже, чем у кода NRZ, так как при той же битовой скорости длительность такта увеличивается в два раза. Таким образом, с помощью кода 2B1Q можно по одной и той же линии передавать данные в два раза быстрее, чем с помощью кода AMI или NRZI.

Однако для его реализации мощность передатчика должна быть выше, чтобы четыре уровня четко различались приемником на фоне помех. Для улучшения потенциальных кодов типа AMI, NRZI или 2Q1B используются избыточные коды и скремблирование.

2. Методы повышения помехоустойчивости передачи и приема.

Логическое кодирование используется для улучшения потенциальных кодов типа AMI, NRZI, 2Q1B и уменьшения помех в сети. Логическое кодирование должно заменять длинные последовательности бит, приводящие к постоянному потенциалу (перегрев оборудования), вкраплениями единиц. Для логического кодирования характерны два метода - избыточные коды и скремблирование.

Избыточные коды

Избыточные коды основаны на разбиении исходной последовательности битов на порции, которые часто называют символами. Затем каждый исходный символ заменяется новым с большим количеством битов, чем исходный.

Например, в логическом коде **4B/5B**, используемом в технологиях FDDI и FastEthernet, исходные символы длиной 4 бит заменяются символами длиной 5 бит. Так как результирующие символы содержат избыточные биты, то общее количество битовых комбинаций в них больше, чем в исходных.

Таблица 1. Соответствие исходных и результирующих кодов 4B/5B

Исходный код	Результирующий код	Исходный код	Результирующий код
0000	11110	1000	10010
0001	01001	1001	10011
0010	10100	1010	10110

0011	10101	1011	10111
0100	01010	1100	11010
0101	01011	1101	11011
0110	01110	1110	11100
0111	01111	1111	11101

Скремблирование

Методы скремблирования заключаются в побитном вычислении результирующего кода на основании бит исходного кода и полученных в предыдущих тактах бит результирующего кода. Например, скремблер может реализовывать следующее соотношение:

$$B_i = A_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5},$$

где B_i — двоичная цифра результирующего кода, полученная на i -м такте работы скремблера, A_i — двоичная цифра исходного кода, поступающая на i -м такте на

вход скремблера, B_{i-3} и B_{i-5} — двоичные цифры результирующего кода, полученные на предыдущих тактах работы скремблера, соответственно на 3 и на 5 тактов ранее текущего такта, $\oplus$ — операция исключающего ИЛИ (сложение по модулю 2).

Например, для исходной последовательности 110110000001 скремблер даст следующий результирующий код:

$B_1 = A_1 = 1$ (первые три цифры результирующего кода будут совпадать с исходным, так как еще нет нужных предыдущих цифр)

$$B_2 = A_2 = 1$$

$$B_3 = A_3 = 0$$

$$B_4 = A_4 \oplus B_1 = 1 \oplus 1 = 0$$

$$B_5 = A_5 \oplus B_2 = 1 \oplus 1 = 0$$

$$B_6 = A_6 \oplus B_3 \oplus B_1 = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$$

$$B_7 = A_7 \oplus B_4 \oplus B_2 = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$$

$$B_8 = A_8 \oplus B_5 \oplus B_3 = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0$$

$$B_9 = A_9 \oplus B_6 \oplus B_4 = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$$

$$B_{10} = A_{10} \oplus B_7 \oplus B_5 = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$$

$$B_{11} = A_{11} \oplus B_8 \oplus B_6 = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$$

$$B_{12} = A_{12} \oplus B_9 \oplus B_7 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

Таким образом, на выходе скремблера появится последовательность 110001101111, в которой нет последовательности из шести нулей, присутствовавшей в исходном коде.

После получения результирующей последовательности приемник передает ее дескремблеру, который восстанавливает исходную последовательность на основании обратного соотношения:

$$C_i = B_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5} = (A_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5}) \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5} = A_i.$$

Существуют и более простые методы борьбы с последовательностями единиц, также относимые к классу скремблирования.

Для улучшения кода АМІ используются два метода, основанные на искусственном искажении последовательности нулей запрещенными символами.

На рисунке 2 показано использование метода B8ZS (Bipolar with 8-Zeros Substitution) и метода HDB3 (High-Density Bipolar 3-Zeros) для корректировки кода АМІ. Исходный код состоит из двух длинных последовательностей нулей: в первом случае - из 8, а во втором - из 5.

Рис. 2 Коды B8ZS и HDB3. V - сигнал единицы запрещенной полярности; 1* - сигнал единицы корректной полярности, но заменившей 0 в исходном коде.

Код B8ZS исправляет только последовательности, состоящие из 8 нулей. Для этого он после первых трех нулей вместо оставшихся пяти нулей вставляет пять цифр: V-1*-0-V-1*. V здесь обозначает сигнал единицы, запрещенной для данного такта полярности, то есть сигнал, не изменяющий полярность предыдущей единицы, 1* - сигнал единицы корректной полярности, а знак звездочки отмечает тот факт, что в исходном коде в этом такте была не единица, а ноль. В результате на 8 тактах приемник наблюдает 2 искажения - очень маловероятно, что это случилось из-за шума на линии или других сбоев передачи. Поэтому

приемник считает такие нарушения кодировкой 8 последовательных нулей и после приема заменяет их на исходные 8 нулей. Код B8ZS построен так, что его постоянная составляющая равна нулю при любых последовательностях двоичных цифр.

Код HDB3 исправляет любые четыре подряд идущих нуля в исходной последовательности. Правила формирования кода: каждые четыре нуля заменяются четырьмя сигналами, в которых имеется один сигнал V. Для подавления постоянной составляющей полярность сигнала V чередуется при последовательных заменах. Для замены используются два образца четырехтактовых кодов. Если перед заменой исходный код содержал нечетное число 1-ц, то используется последовательность 000V, а если число 1-ц было четным - последовательность 1*00V.

Улучшенные потенциальные коды обладают достаточно узкой полосой пропускания для любых последовательностей единиц и нулей, которые встречаются в передаваемых данных.

3. Задание

Необходимо разработать программу для кодирования информации, используя код (по варианту), при этом для устранения последовательностей нулей использовать логическое кодирование (по варианту). Входную последовательность информации ввести с клавиатуры. Результаты работы отобразить в виде временной диаграммы, при этом на диаграмме должны быть:

- входная последовательность в коде NRZ,
- входная последовательность в виде самосинхронизирующегося кода (по варианту),
- входная последовательность в логическом коде (по варианту).

4. Варианты задания:

№ варианта	Самосинхронизирующиеся коды	Логическое кодирование
1	Биполярный код AMI	Избыточный код 4B/5B
2	Код NRZI	Скремблер со сдвигом 3 и 5
3	Манчестерский код	Избыточный код 4B/5B
4	Биполярный код AMI	Метод B8ZS
5	Код NRZI	Скремблер со сдвигами 3 и 5 позиции
6	Биполярный код AMI	Метод HDB3
7	Манчестерский код	Метод B8ZS
8	Код NRZI	Скремблер со сдвигом 5 и 8
9	Биполярный код AMI	Скремблер со сдвигом 3 и 5
10	Манчестерский код	Скремблер со сдвигом 3 и 5
11	Код NRZI	Метод B8ZS
12	Биполярный код AMI	Скремблер со сдвигами 5 и 13 позиции
13	Код NRZI	Метод HDB3
14	Код 2B1Q	Избыточный код 4B/5B
15	Код 2B1Q	Скремблер со сдвигом 3 и 5
16	Код 2B1Q	Метод B8ZS
17	Манчестерский код	Скремблер со сдвигами 5 и 13 позиции

5. Структура отчета

1. титульный лист;
2. цель работы, задание;
3. краткие теоретические сведения;
4. алгоритм работы программы;
5. листинг программы кодирования информации;
6. результаты работы программы;

7. ВЫВОДЫ.

Лабораторная работа № 16 (2 часа)

Тема: «Модуляция»

Цель работы: изучить методы амплитудной, фазовой и частотной модуляции, принципы амплитудной и частотной манипуляции, принципы импульсной и цифровой модуляции.

Задачи работы:

1. Изучить методы модуляции;
2. Изучить принципы модуляции.

Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Компьютерная ЛВС.

Описание (ход) работы:

Модуляция сигналов позволяет выполнить преобразование сигналов с целью повышения эффективности и помехоустойчивости процесса передачи информации. В большинстве случаев методы модуляции основываются на управлении параметрами сигналов в соответствии с информационным сообщением. При модуляции сигналов изменяется их форма и спектральные характеристики. Особенности формирования спектров сигналов имеют важное значение для систем связи и телекоммуникаций.

Сообщения передаются при помощи сигналов. В простейшем случае сообщение может заключаться в наличии (отсутствии) принятого сигнала. При этом требуется решать задачу *обнаружения* сигнала. Во многих случаях вид передаваемых сигналов заранее известен и приём сообщения состоит в том, чтобы определить, какой из возможных сигналов был передан. Тогда задача состоит в *различении* сигналов. Если сигналы отличаются значениями их параметров, которые считаются постоянными в течении некоторого интервала, то необходимо получать *оценки параметров* сигнала. Сообщение может содержаться в изменениях параметров, т.е. в их мгновенных (локальных) значениях. Тогда для получения сообщения нужно выполнить *фильтрацию параметров* сигнала. Задача фильтрации, как правило, является более сложной, чем оценивание параметров.

Управление информационным параметром сигнала в соответствии с передаваемым сообщением называют *модуляцией*.

Информационный сигнал (сообщение) обозначим $q(x)$, сигнал-переносчик, параметр которого изменяется в соответствии с сообщением, обозначим $s(x)$. При модуляции выполняется преобразование этих двух сигналов в один модулированный сигнал $x(x)$ в соответствии с уравнением

$$\xi(x) = M\{s(x), \theta(x)\}, \quad (1)$$

где $M\{\cdot\}$ – оператор, определяемый видом модуляции. Для выделения сообщения $q(x)$ на приёмной стороне необходимо выполнить обратное преобразование (демодуляцию), т.е.

$$\theta(x) = M^{-1}\{\xi(x)\}. \quad (2)$$

В зависимости от вида, функциональной формы и числа параметров сигнала-переносчика $s(x)$ и информационного сигнала $q(x)$ варьируются свойства различных методов модуляции, а именно, вид и ширина спектра сигнала $x(x)$, устойчивость к воздействию помех и т.д.

Если информационный параметр сигнала-переносчика изменяется непрерывно, то методы модуляции являются *непрерывными* (распространены, например, методы амплитудной, фазовой и частотной непрерывной модуляции гармонического сигнала-переносчика).

В качестве сигнала-переносчика часто используют периодическую последовательность импульсов, тогда модуляцию называют *импульсной* (например, при изменении амплитуды или частоты импульсов по закону $q(x)$ имеет место амплитудно-импульсная или частотно-импульсная модуляция соответственно).

Информационный параметр может принимать счётное число значений, при этом модуляцию называют *дискретной*. К дискретным видам модуляции относятся, например, амплитудная, частотная и фазовая *манипуляции*. Если значения параметра закодированы и передаются в цифровой форме, то соответствующие виды модуляции носят название *цифровой* модуляции. Наиболее распространенным видом цифровой модуляции является импульсно-кодовая модуляция, когда значения сигнала в дискретных точках кодируют в цифровой форме.

При создании систем передачи сигналов основными задачами являются разработка методов и математических моделей, определяющих оптимальные режимы модуляции-демодуляции с точки зрения повышения скорости, достоверности и помехозащищённости передачи информации.

При классификации видов модуляции принимают в расчёт вид, характер информационного сигнала и сигнала-переносчика: детерминированный процесс, случайный стационарный процесс, нестационарный процесс и т.д. Детерминированные сигналы определяются их амплитудными и фазовыми спектрами на основе свойств рядов Фурье и преобразования Фурье (разд. 1.5.). В теории информации и передачи сигналов особое место занимают стохастические сигналы, являющиеся реализациями случайных процессов с заданными характеристиками – корреляционными функциями и спектральными плотностями.

Если вид информационного сигнала, сигнала-переносчика и характеристики линии связи заданы, то основной задачей является *оптимальный приём* сигналов. Задача оптимального приёма, как правило, сводится к задаче различения сигналов по заданному критерию в условиях помех (задача обнаружения рассматривается как различение смеси сигнала и помехи от помехи, когда сигнал отсутствует).

Задачи приёма сообщений подразделяют на два класса – когерентный и некогерентный приём, соответственно при наличии и отсутствии синхронизации в канале передачи информации. Методы когерентного (синхронного) приема, как правило, более просты и надёжны. Методы некогерентного (асинхронного) приёма обеспечивают более высокое быстродействие, однако более сложны в реализации.

Теория оптимального приёма сигналов является одним из важнейших разделов статистической радиотехники и теории связи.

Методы амплитудной, фазовой и частотной модуляции

Амплитудная, фазовая и частотная модуляция гармонических сигналов-переносчиков получили наиболее широкое распространение в радиовещании и системах связи.

Амплитудная модуляция

Амплитудно-модулированный (АМ) сигнал в общем случае определяется выражением

$$\xi(x) = [1 + m\Theta(x)] s(x), \quad (3)$$

где $q(x)$ – информационный (модулирующий) сигнал, $s(x)$ – сигнал-переносчик, m – коэффициент модуляции.

Спектр сигнала (3) можно найти с использованием свойств преобразования Фурье (см. разд. 1.5) в форме

$$\Xi(u) = F\{\xi(x)\} = S(u) + m S(u) * \Theta(u), \quad (4)$$

$$S(u) = F\{s(x)\}, \quad \Theta(u) = F\{\Theta(x)\}.$$

где

Формирование спектра (4) иллюстрируется на рис. 1 и 2.

При гармоническом модулирующем сигнале (рис. 1) его спектр, как и спектр сигнала-переносчика, представляет собой две дельта-функции. Свертка спектров $S(u)$ и $Q(u)$ приводит к переносу спектра $Q(u)$ на более высокую (так называемую *несущую*) частоту $\pm u_0$.

Если модулирующий сигнал имеет сложную форму и, следовательно, протяженный спектр (рис. 2), образованный множеством пар дельта-функций с различными положениями на частотной оси, то в результате переноса спектра на несущую частоту $\pm u_0$ образуются соответствующие спектральные порядки. В силу свойств частотной симметрии преобразования Фурье можно показать, что вся полезная информация содержится в спектральном порядке в окрестности частоты u_0 .

Демодуляцию АМ сигнала осуществляют путём выделения огибающей сигнала-переносчика при его детектировании и фильтрации нижних частот на выходе детектора. Ширина полосы пропускания фильтра должна соответствовать ширине спектра $Q(u)$ (рис. 2), чтобы обеспечить минимальные спектральные искажения восстановленного сигнала.

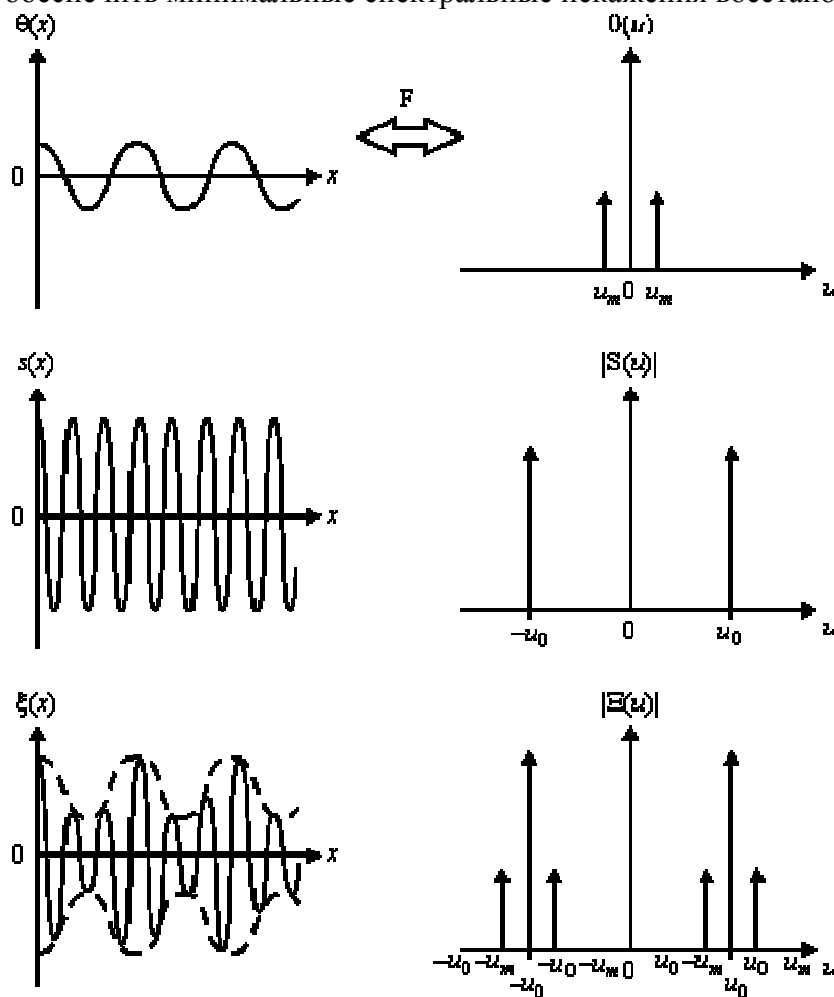


Рис. 1. Спектр АМ сигнала с гармонической модуляцией

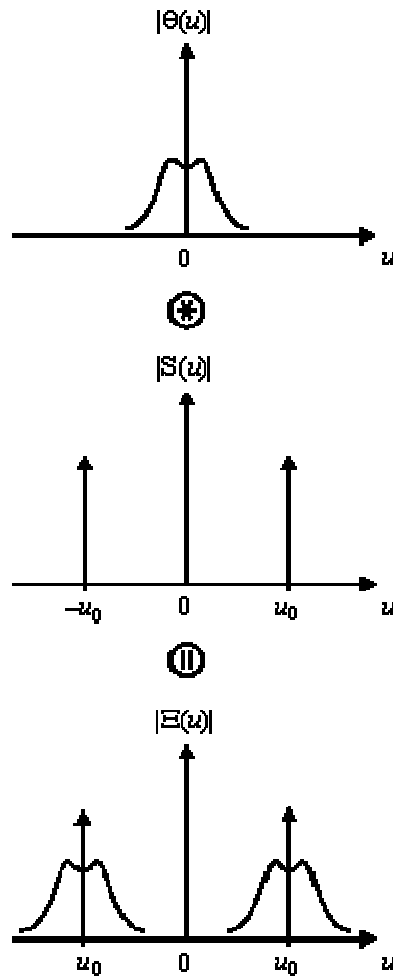


Рис. 2. Спектр сложного АМ сигнала

Фазовая модуляция

Фазомодулированный (ФМ) сигнал имеет постоянную амплитуду, фаза сигнала изменяется пропорционально информационному сигналу, а именно

$$\xi(x) = A \cos[2\pi u_0 x + m\theta(x)], \quad (5)$$

где u_0 - несущая частота, m - индекс фазовой модуляции.

Пусть модулирующий сигнал является гармоническим, $\theta(x) = \cos(2\pi u_m x)$, и индекс модуляции $m \ll 1$. При этом выражение (5) можно переписать в виде

$$\begin{aligned} \xi(x) &= A \cos[2\pi u_0 x + m \cos(2\pi u_m x)] \approx \\ &\approx A \cos(2\pi u_0 x) - m A \sin(2\pi u_0 x) \cos(2\pi u_m x), \end{aligned} \quad (6)$$

учитывая, что при $y \rightarrow 0$ $\cos y \approx 1$, $\sin y \approx y$. После преобразования второго слагаемого в (6) получим

$$\xi(x) \approx A \cos(2\pi u_0 x) - (mA/2) \sin 2\pi(u_0 + u_m)x - (mA/2) \sin 2\pi(u_0 - u_m)x. \quad (7)$$

Спектр ФМ-сигнала с малым индексом модуляции показан на рис. 3.

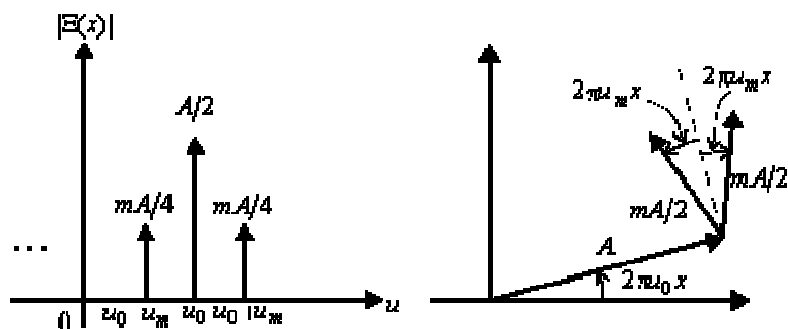


Рис. 3. Спектр и векторная диаграмма для ФМ сигнала при $m \ll 1$

Величины спектральных составляющих идентичны величинам спектральных составляющих сигнала с синусоидальной АМ, однако фазовые соотношения между несущей и боковыми составляющими различны. Эти фазовые соотношения более детально показаны графически на векторной диаграмме в правой части рис. 3. Меньшие векторы медленно вращаются в противоположных направлениях вокруг быстро вращающегося большого вектора, а $x(x)$ представляет собой проекцию суммы векторов на горизонтальную ось. Однако в отличие от случая АМ сигнала сумма меньших векторов всегда перпендикулярна большему вектору. При этом, если векторы боковых составляющих малы ($m \ll 1$), длина суммарного вектора близка по величине амплитуде несущей A , но результирующий вектор вращается с переменной скоростью.

Фазовые соотношения в данной векторной диаграмме указывают простой способ генерирования ФМ сигналов с малым индексом модуляции (рис. 2.4) при произвольном модулирующем сигнале $q(x)$.

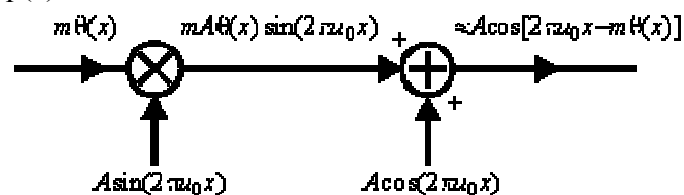


Рис. 4. Структурная схема ФМ модулятора при $m \ll 1$

Частотная модуляция

При частотной модуляции изменяется мгновенная (локальная) частота $u(x)$ сигнала-переносчика $s(x)$ в соответствии с информационным сигналом $q(x)$, а именно

$$\xi(x) = A \cos[2\pi u(x)x], \quad (8)$$

где

$$u(x) = u_0 + \int_{-\infty}^x \theta(\chi) d\chi. \quad (9)$$

При синусоидальной ЧМ модулирующий сигнал имеет вид

$$\theta(x) = -a \sin(2\pi u_m x), \quad (10)$$

откуда

$$u(x) = u_0 + \int_{-\infty}^x \theta(\chi) d\chi = u_0 + (a/2\pi u_m) \cos(2\pi u_m x). \quad (11)$$

Сравнение (6) и (8) с учётом (11) показывает идентичность ФМ и ЧМ при синусоидальной модулирующей функции и индексе модуляции

$$|m| = a/2\pi u_m.$$

Значение a представляет собой максимальную *девиацию* мгновенной угловой частоты относительно несущей угловой частоты $2\pi u_0$.

Простейший демодулятор для ЧМ сигналов или *частотный дискриминатор* представляет собой резонансный контур, настроенный, например, ниже несущей частоты (рис. 5). Изменения мгновенной частоты во входном модулированном сигнале преобразуются в изменения амплитуды сигнала на выходе резонансного контура. Эти амплитудные изменения нетрудно выделить при помощи обычного детектора огибающей.

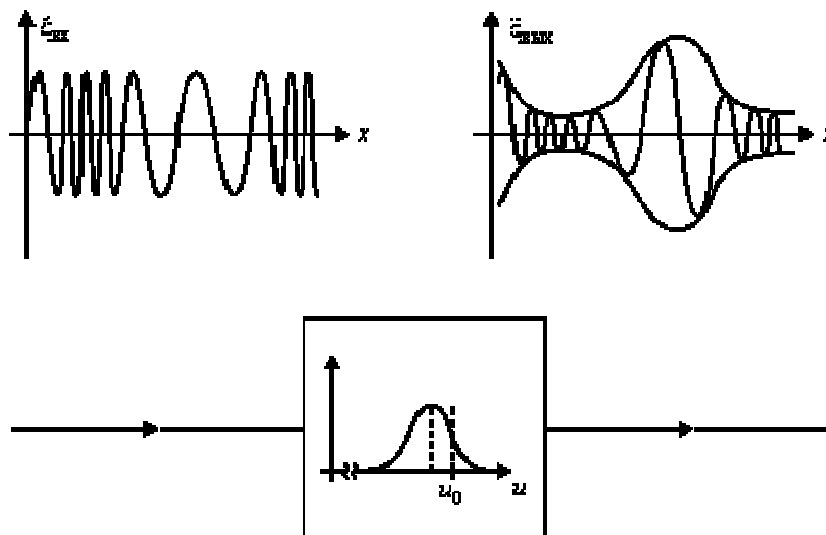


Рис. 5. Преобразование изменений частоты в изменение амплитуды при помощи резонансной цепи

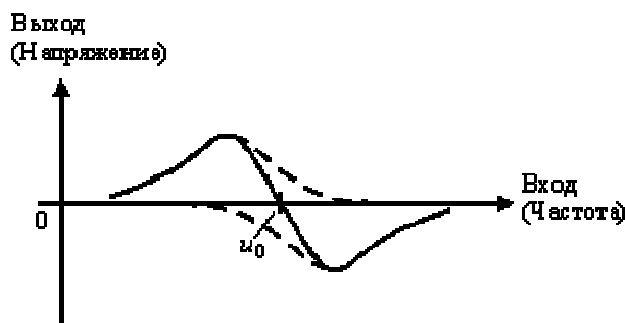


Рис. 6. Характеристика дискриминатора, полученная с помощью пары резонансных контуров

Ограниченный диапазон линейности такого дискриминатора можно расширить, применив пару контуров, один из которых настроен соответственно выше, а другой ниже частоты несущей. Выходные сигналы на выходе этих контуров отдельно детектируются и после этого вычитаются, образуя полную характеристику дискриминатора, показанную на рис. 6. Выходной сигнал в дискриминаторах такого типа изменяется по амплитуде при вариациях как частоты, так и амплитуды входного сигнала.

В реальных системах неконтролируемые изменения амплитуды в ЧМ-сигнале вызываются шумами, помехами, “замираниями” радиоволн и другими факторами. В связи с этим на входе дискриминаторов необходимо включать *ограничитель*, который представляет собой нелинейное устройство с характеристикой, показанной на рис. 7. Ограничитель совместно с включенным на его выходе резонансным усилителем практически устраняет амплитудные изменения огибающей узкополосного сигнала, сохраняя при этом фазовые изменения.

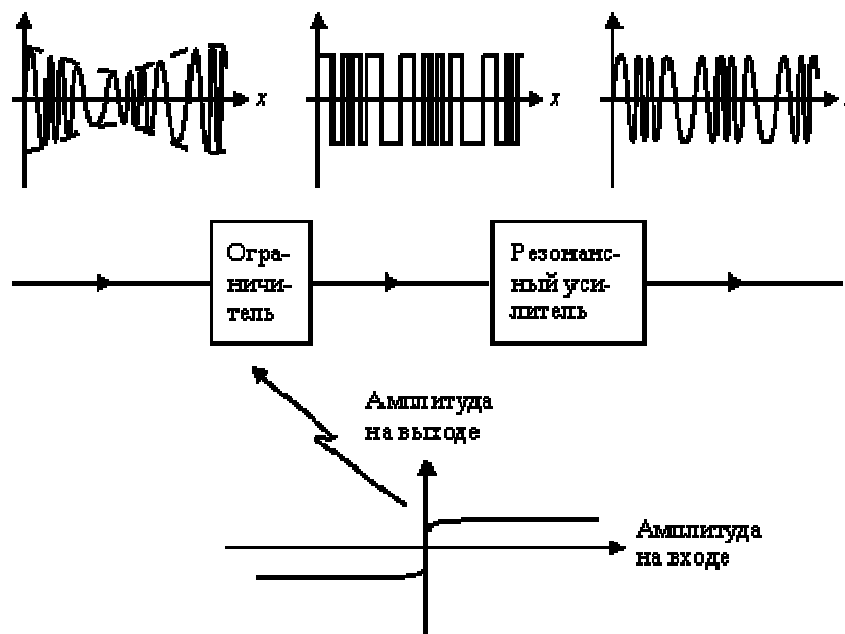


Рис. 7. Совместная работа ограничителя и резонансного усилителя

На рис. 8 показана полная структурная схема типового ЧМ приемника.

Усилитель высокой частоты (УВЧ) усиливает принятый сигнал, внутренний гетеродин (генератор) вырабатывает гармонический “опорный” сигнал, который перемножается в смесителе с принятым сигналом. В результате формируется сигнал на промежуточной частоте, которая является постоянной при синхронной перестройке частот настройки УВЧ и гетеродина.

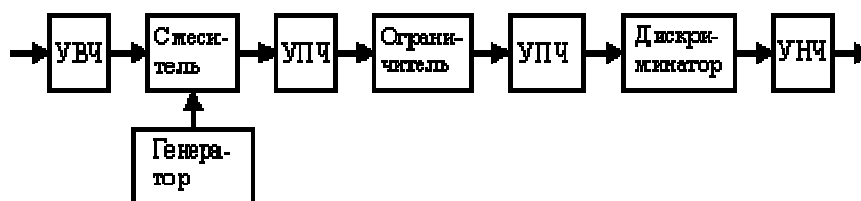


Рис.8. Функциональная схема ЧМ приемника

Усилитель промежуточной частоты УПЧ обеспечивает высокий коэффициент усиления сигнала. Усиленный сигнал после ограничителя поступает на второй УПЧ, выполняющий функции резонансного усилителя в схеме рис. 7. Частотный дискриминатор выделяет изменения частоты сигнала, которые в форме низкочастотного сигнала поступают на вход усилителя низкой частоты УНЧ.

Принципы амплитудной и частотной манипуляции

Манипуляция относится к дискретным методам модуляции, в которых информационный параметр принимает счётное число значений.

Амплитудная манипуляция

При амплитудной манипуляции (АМн) информационным параметром является амплитуда сигнала-переносчика, которая изменяется скачкообразно под действием модулирующего сигнала.

Рассмотрим особенности анализа АМн сигнала для случая, когда в роли переносчика выступает гармоническое колебание $s(x) = A_0 \sin(2\pi\omega_0 x + \Phi_0)$, а модулирующим сигналом является периодическая последовательность модулирующих импульсов

$$\theta(x) = \begin{cases} 1, & 2i\Delta x < x < (2i+1)\Delta x, \\ -1, & (2i+1)\Delta x < x < 2(i+1)\Delta x, \quad i = 0, 1, 2, \dots \end{cases}$$

где Δx - длительность импульсов, $T = 2\Delta x$ - период следования импульсов. Аналитически АМн сигнал определяется выражением

$$\xi(x) = 0,5A_0[1 + m\theta(x)]\sin(2\pi u_0 x + \varphi_0). \quad (12)$$

В рассматриваемом примере амплитуда манипулированного сигнала принимает два значения:

$$A = \begin{cases} 0,5A_0(1+m), & 2i\Delta x < x < (2i+1)\Delta x, \\ 0,5A_0(1-m), & (2i+1)\Delta x < x < 2(i+1)\Delta x, \quad i = 0, 1, 2, \dots \end{cases}$$

Обычно коэффициент модуляции m при АМн выбирается равным единице, поэтому амплитуда модулированного сигнала изменяется скачком в точках $x = i\Delta x, i = 0, 1, 2, \dots$ и принимает два значения A_0 и 0.

На рис. 9 показаны временные диаграммы модулирующего $\theta(t)$ и манипулированного $\xi(t)$ сигналов.

Определим спектр амплитудно манипулированного сигнала (12). Представим модулирующий сигнал $q(x)$ в виде ряда Фурье

$$\theta(x) = \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1 - \cos k\pi}{k} \sin 2\pi u_m x, \quad (13)$$

где $u_m = 1/T$. Подставив (13) в (12), получим

$$\begin{aligned} \xi(x) &= A_0 \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1 - \cos k\pi}{k} \sin 2\pi u_m x \right) \sin(2\pi u_0 x + \varphi_0) = \\ &= \frac{1}{2} A_0 \sin(2\pi u_0 x + \varphi_0) + \frac{A_0}{2\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1 - \cos k\pi}{k} \cos(2\pi u_0 x - 2\pi u_m x + \varphi_0) - \\ &- \frac{A_0}{2\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1 - \cos k\pi}{k} \cos(2\pi u_0 x + 2\pi u_m x + \varphi_0). \end{aligned} \quad (14)$$

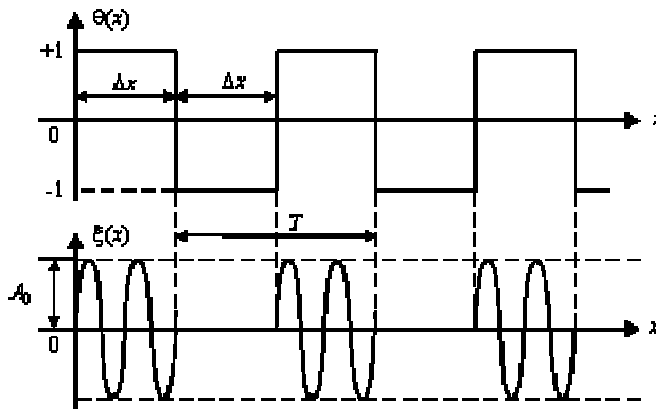


Рис. 9. Модулирующий и манипулированный сигналы.

На рис. 10 показан построенный в соответствии с выражением (14) спектр АМн сигнала. Огибающая спектра (штрихованная линия) представляет смещенный на частоту u_0 спектр одиночного видеоимпульса $h(x)$.

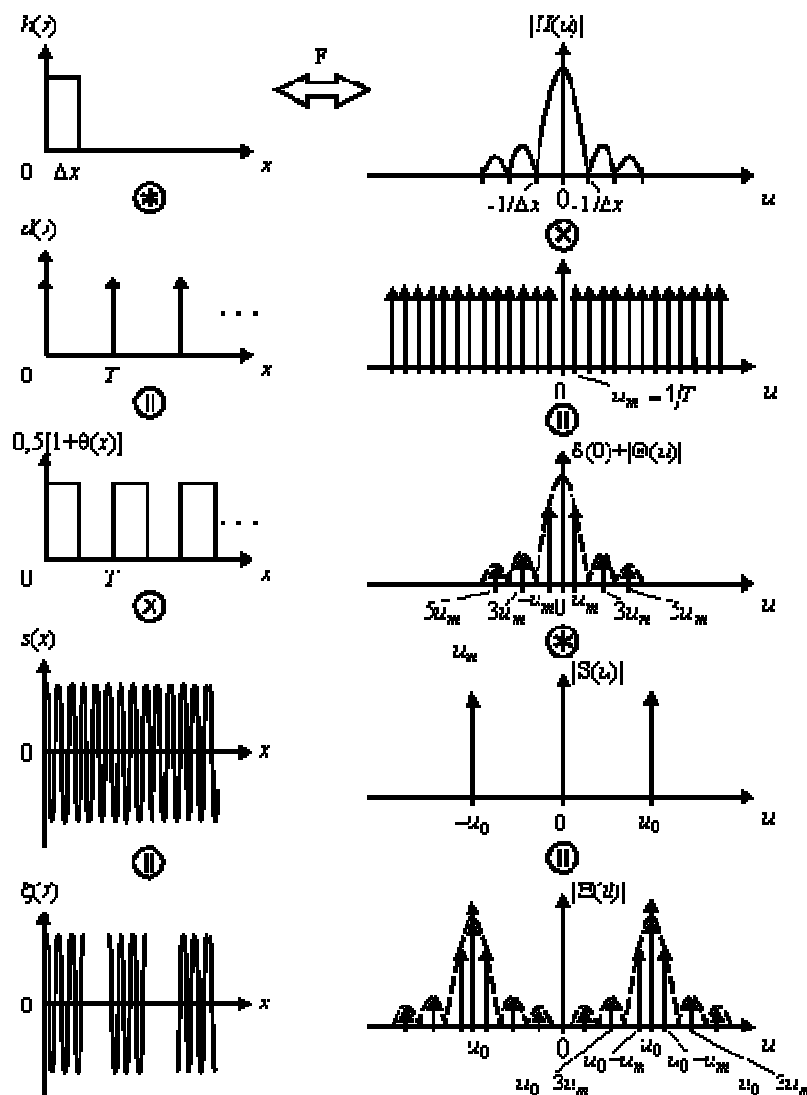


Рис. 10. Формирование спектра сигнала при амплитудной модуляции

Интервалы между спектральными линиями равны $u_m = 1/T$ (чётные гармоники равны нулю).

Отношение периода следования импульсов к их продолжительности называется *скважностью* импульсов $\eta = (T/\Delta x)$. Рассмотренный пример соответствует случаю $h = 2$. При других значениях скважности спектр сигнала может содержать также четные гармонические составляющие частоты u_m .

Частотная манипуляция

Сигнал с частотной манипуляцией (ЧМн) формируется в результате скачкообразного изменения частоты сигнала-переносчика, а именно, при манипуляции со скважностью $h = 2$ ЧМн сигнал внутри периода манипуляции определяется как

$$\xi(x) = \begin{cases} A \cos[2\pi(\omega_0 + \Delta\omega)x], & -T/4 < x < T/4, \\ A \cos[2\pi(\omega_0 - \Delta\omega)(x - T/2)], & T/4 < x < 3T/4, \end{cases}$$

где $2\Delta\omega$ - изменение частоты, T – период изменения частоты (рис 2.11).

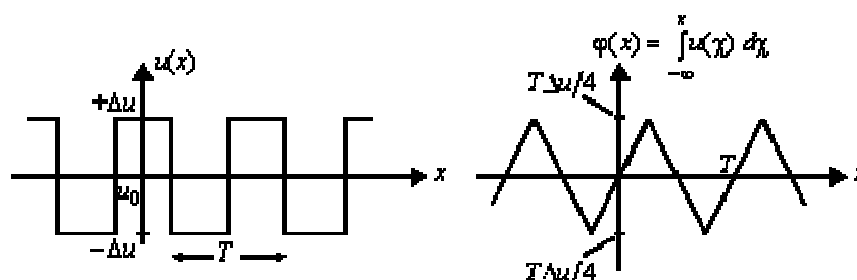


Рис. 11. Модулирующие функции частотно манипулированного сигнала

Частота сигнала мгновенно изменяется между двумя значениями на оси частот. Результирующий сигнал $\xi(x)$ можно рассматривать как суперпозицию двух модулированных прямоугольной последовательностью импульсов синусоидальных сигналов различной частоты, как показано на рис. 12. Спектр каждой из составляющих представляет собой спектр прямоугольного видеоимпульса с соответственно сдвинутой несущей частотой, как показано на рис. 13.

Согласно рис. 11, периодическая частотная манипуляция соответствует фазовой модуляции сигналом треугольной формы.

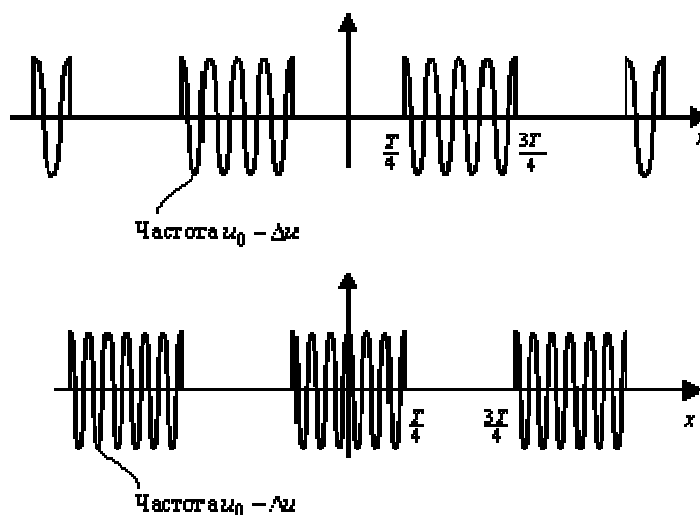


Рис. 12. Две составляющие частотно манипулированного сигнала

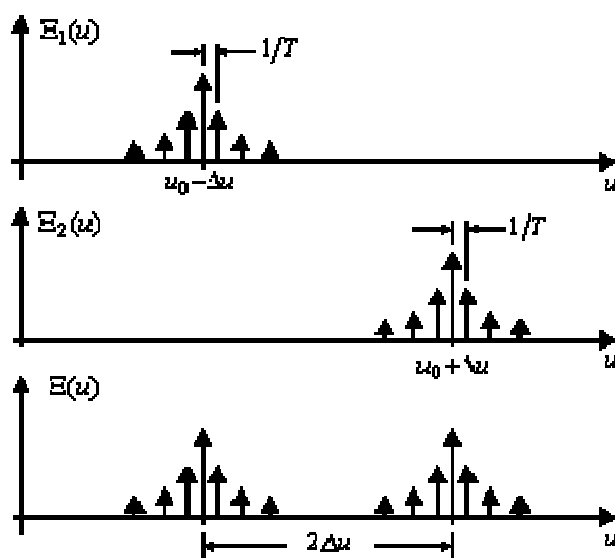


Рис. 13. Спектры частотно манипулированного сигнала

Во многих случаях при манипуляции модулирующие сигналы не являются периодическими и представляют собой случайные последовательности (соответствующие, например, последовательностям нулей и единиц при передаче информации). При этом характеристики сигналов определяются их корреляционными функциями и спектральными плотностями.

Принципы импульсной и цифровой модуляции

При импульсной модуляции в качестве сигнала-переносчика используется периодическая последовательность видеоимпульсов

$$s(x) = A_0 \sum_{i=-\infty}^{\infty} h(x - iT, \Delta x), \quad (15)$$

где A_0 – амплитуда импульсов, $h(x)$ – функция, описывающая одиночный импульс последовательности, T – период повторения импульсов, Δx – длительность одного импульса.

В качестве примера рассмотрим метод амплитудной импульсной модуляции (АИМ), когда амплитуда импульсов изменяется в соответствии с информационным сигналом $\theta(x)$, так что передаваемый сигнал определяется выражением

$$\xi(x) = A_0 [1 + m\theta(x)] \sum_{i=-\infty}^{\infty} h(x - iT, \Delta x), \quad (16)$$

где m , как и ранее, – коэффициент модуляции. Временная диаграмма сигнала (16) показана на рис. 14.

Представим последовательность (15) в форме ряда Фурье

$$s(x) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k \exp(j2\pi u_0 x), \quad (17)$$

где a_k – комплексные амплитуды, учитывающие амплитуды и начальные фазы отдельных гармоник, $u_0 = 1/T$ – частота следования видеоимпульсов.

В результате подстановки (17) в (16) и преобразования Фурье получим выражение для спектра АИМ сигнала в форме

$$\begin{aligned} \Xi(u) &= \int_{-\infty}^{\infty} \xi(x) \exp(-j2\pi u x) dx = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} [1 + m\theta(x)] \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k \exp[-j2\pi(u - ku_0)x] dx = \\ &= 2\pi \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k \delta(u - ku_0) + m \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k \int_{-\infty}^{\infty} \theta(x) \exp[-j2\pi(u - ku_0)x] dx. \end{aligned} \quad (18)$$

Первая сумма в (18) представляет спектр немодулированной последовательности (17). Вторая сумма показывает, что амплитудная модуляция вызывает появление возле каждой составляющей этого спектра боковых полос, повторяющих спектр узкополосного модулирующего сигнала. Поэтому спектр АИМ сигнала представляет упорядоченный набор спектров обычных АМ колебаний (см. рис. 2), в которых роль несущих выполняют гармоники (17) частоты следования видеоимпульсов (15).

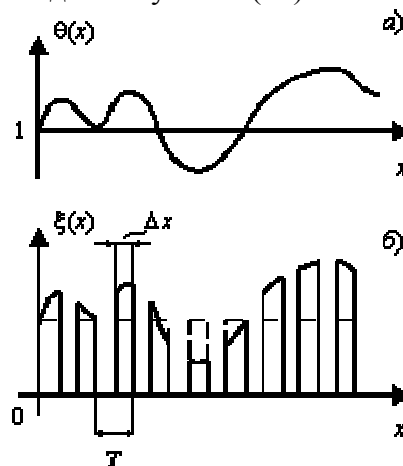


Рис. 14. Модулирующий сигнал (а) и АИМ сигнал (б)

Спектр АИМ сигнала показан на рис. 15 для случая, когда модулирующий сигнал $\theta(x)$ является узкополосным сигналом со средней частотой u_m .

Рассмотрение спектра АИМ сигнала позволяет сделать ряд практически важных выводов. Очевидно, что необходимо выбирать такую частоту повторения импульсов $u_{0\min} \geq 2u_m$, при которой не происходит наложения спектров соседних боковых полос. Если это условие выполняется, можно выделить составляющие модулированного сигнала с помощью полосовых фильтров и фильтров нижних частот. Практически важной

особенностью спектра АИМ сигнала является наличие около частоты $\omega = 0$ составляющих модулирующего сигнала (рис. 15). Следовательно, демодуляцию АИМ сигнала можно выполнить фильтром нижних частот без дополнительных преобразований. Фильтр должен пропускать частоты от 0 до $\omega_0 - \omega_{\text{ш}} - \omega_{\text{М}}$, где $\omega_{\text{М}}$ – максимальная частота в спектре модулирующего информационного сигнала.

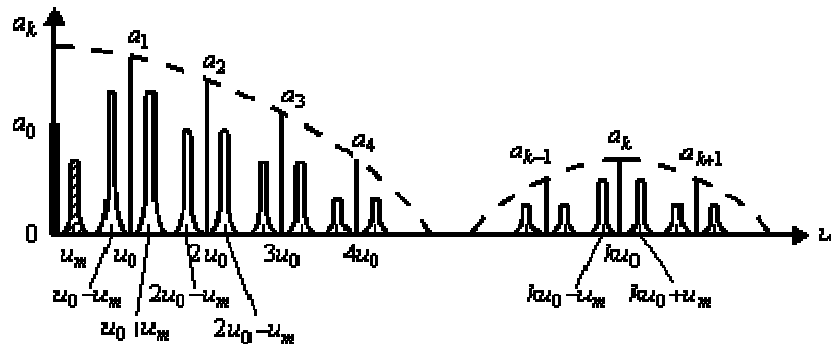


Рис. 15. Модуль спектра АИМ сигнала

Частоте ω_0 соответствует период T . Большие интервалы между импульсами используются для размещения импульсов других каналов, например, при многоканальной передаче с временным разделением каналов. Длительность Δx импульсов определяет полосу пропускания каналов.

Часто АИМ сигнал используется как модулирующий сигнал для создания высокочастотных модулированных колебаний. Вначале формируют АИМ сигнал, затем полученный АИМ видеосигнал используют для модуляции непрерывного высокочастотного переносчика, имеющего частоту много большую, чем ω_0 . После таких преобразований спектр сигнала $\Theta(x)$ переносится на частоту несущего высокочастотного колебания.

Цифровые методы модуляции

Цифровые виды модуляции используются для передачи кодированных сообщений дискретными методами. Сущность цифровой модуляции заключается в том, что передаваемый непрерывный сигнал дискретизируется во времени, квантуется по уровню и полученные отчеты, следующие в дискретные моменты времени, преобразуются в кодовые комбинации. Полученной последовательностью кодовых видеосигналов модулируется высокочастотный сигнал-переносчик.

Следовательно, цифровые методы модуляции основаны на трех необходимых преобразованиях полезных непрерывных сигналов: дискретизации, квантовании и кодировании.

Достоинствами цифровых методов модуляции являются:

- слабое влияние неидеальности и нестабильности характеристик аппаратуры на качество передачи информации;
- высокая помехоустойчивость даже при использовании каналов с нестабильными характеристиками и большим уровнем шумов;
- возможность регенерации (восстановления) сигналов в узлах связи сетей, что значительно ослабляет эффект накопления искажений сигналов при передаче информации по линиям большой протяженности;
- универсальная форма представления сигналов для различных сообщений (речь, телевизионное изображение, дискретные данные, команды управления работой устройств связи и т.п.);
- низкая чувствительность к нелинейным искажениям в групповом тракте многоканальных систем;
- относительно простое согласование этих систем с компьютерами и электронными автоматическими телефонными станциями, что играет важную роль для построения сетей связи;
- возможность автоматизации передачи и обработки сигналов с помощью компьютеров.

Основными недостатками систем с цифровыми способами передачи сигналов являются: значительное расширение занимаемой полосы частот каналов, необходимость обеспечения точной синхронизации сигналов и построения аппаратуры для регенерации сигналов на линиях большой протяженности.

В настоящее время наибольшее распространение получили системы с импульсной кодовой модуляцией (ИКМ), в которых значение сигнала в дискретные моменты времени преобразуется в двоичные цифровые коды.

На рис. 16 показаны временные диаграммы сигналов в системе с ИКМ. На рис. 16,а представлены исходный непрерывный сигнал с ограниченным спектром и дискретизированный сигнал с интервалом дискретизации $T < 1/2u_M$, где u_M - верхняя частота спектра сигнала. На рис. 16,б показана полученная в результате квантования и кодирования последовательность двоичных видеоимпульсов. Из-за искажений сигналов и шумов в канале принятая видеопоследовательность (рис. 16,в) отличается от переданной. Выбирается пороговый уровень s_0 , его превышение в моменты отсчета (стробирования) значения сигнала означает наличие импульса, а непревышение – отсутствие импульса. С помощью формирующих устройств из принятой видеопоследовательности создается “очищенная” последовательность, которая поступает на декодер. С выхода декодера импульсы, площадь которых равна соответствующим импульсным отсчётам исходного сигнала (рис. 16,д), поступают на демодулятор, в простейшем случае на вход фильтра нижних частот, на выходе которого восстанавливается копия исходного непрерывного сигнала рис. 16,д.

Для получения регенерированной кодовой последовательности отсчёты принимаемого сигнала берутся в середине каждого тактового интервала

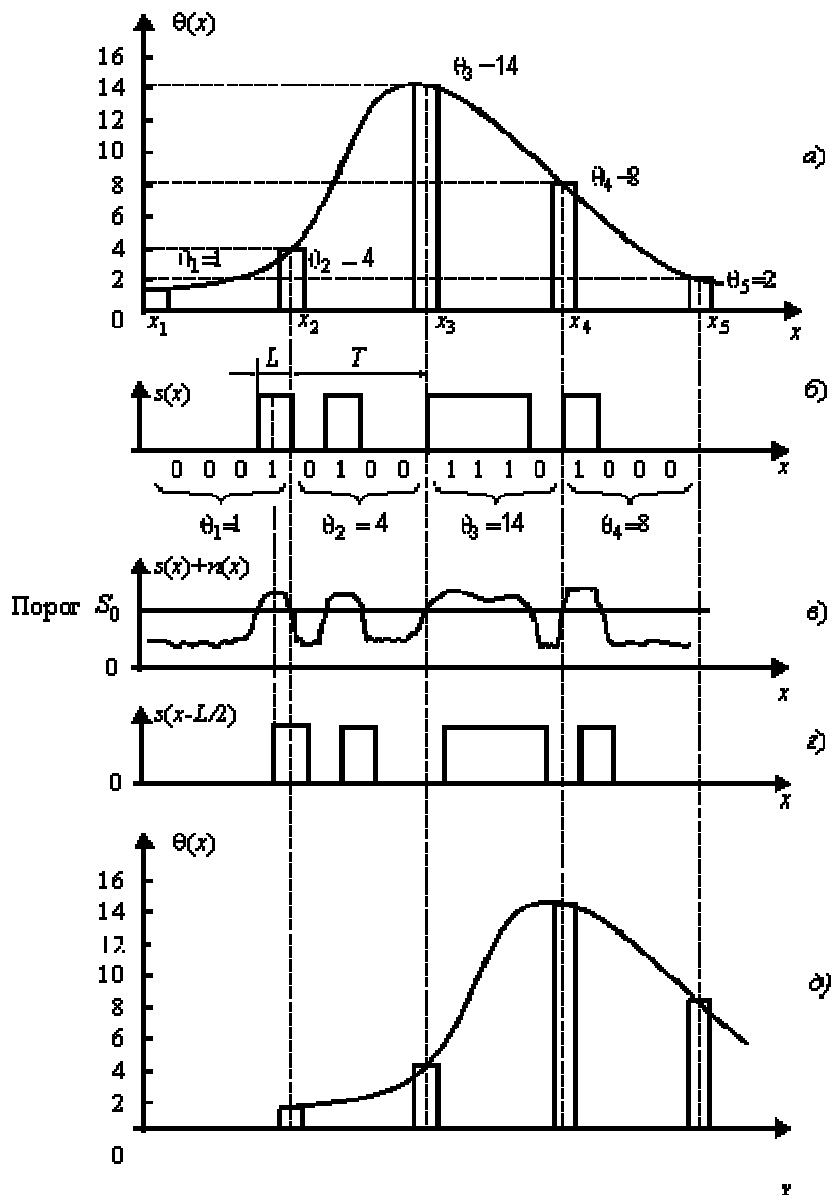


Рис. 16. Диаграммы сигналов в 4-разрядной системе ИКМ

длительностью L (рис. 16, б и в). Это делается для того, чтобы исключить влияние на работу демодулятора запаздывания и фазовых искажений сигналов в канале связи. В результате регенерируемая последовательность “задержана” на $L/2$ относительно переданной (рис. 16, б и г). Правильное декодирование сигналов требует также, чтобы были приняты все разряды кодовой комбинации. Из-за этого принятые отсчеты оказываются дополнительно задержанными относительно передаваемых на интервал дискретизации T (рис. 16, а и д).

Метод пороговой селекции сигналов на фоне помех часто не обеспечивает требуемой помехоустойчивости и достоверности при приеме кодовых сигналов. Значительно более высокую помехоустойчивость обеспечивает применение метода согласованной фильтрации импульсных сигналов.

Проведем сравнительный анализ характеристик методов цифровой амплитудно-импульсной, импульсно-кодовой и фазоимпульсной модуляции при использовании согласованных фильтров.

Цифровая амплитудно-импульсная модуляция

Предположим, что кодовое сообщение представляет собой последовательность двоичных трехразрядных чисел в качестве одиночных слов. Таким образом, всего имеется $2^3 = 8$ возможных слов. В описываемых далее системах каждому из 8 слов ставится в соответствии отдельный сигнал длительностью в три тактовых импульса $3L$. В случае АИМ указанные восемь сигналов имеют форму импульсов с восемью возможными значениями

амплитуды как показано на рис. 17. Максимальная амплитуда равна A , минимальная – 0, остальные значения амплитуды равномерно распределены как кратные величине $A/7$. Предположим, что указанный на рисунке сигнал $\Theta(x)$ непосредственно передается по каналу. Спектр передаваемого АИМ сигнала имеет ширину $1/3L$, обратно пропорциональную длительности импульса. Если предположить, что восемь уровней равновероятны, то нетрудно доказать, что средняя мощность передаваемого АИМ сигнала равна $P_{ср} = 0,36A^2$.

Предполагается, что напряжение на входе приемника представляет собой передаваемый сигнал $\Theta(x)$ с уменьшенной амплитудой (из-за ослабления в канале) и искаженный аддитивной помехой $n(x)$. Для простоты будем считать, что $n(x)$ – белый шум с постоянной спектральной плотностью G_0 и что ослабление в канале отсутствует.

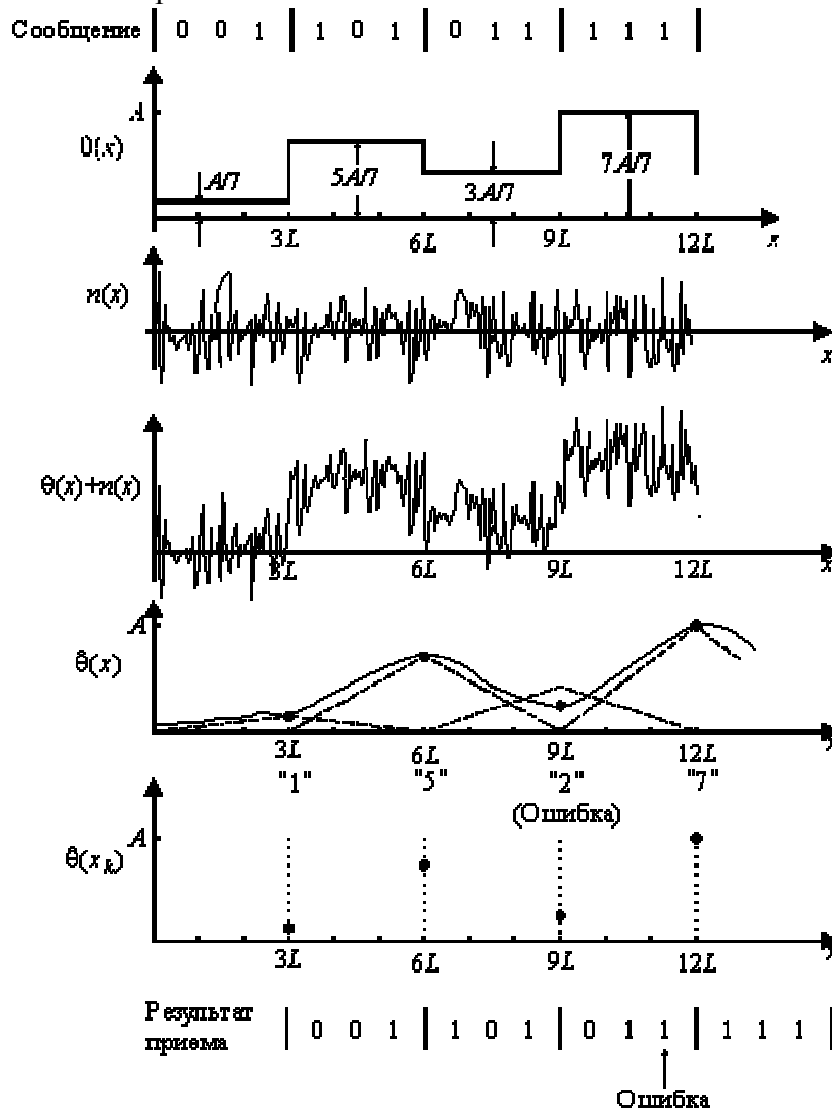


Рис. 17. Преобразование сигналов при цифровой АИМ

Чтобы восстановить кодовую последовательность, приемник усредняет принимаемый сигнал $\Theta(x) + n(x)$ в течение каждого интервала $3L$. Это минимизирует влияние шума. Аналогичную операцию усреднения можно выполнить с помощью показанного на рис. 18 согласованного фильтра. Отклик согласованного фильтра $\hat{\Theta}(x)$ на полезный сигнал $\Theta(x)$ в принимаемом колебании представляет собой сумму треугольников, показанных пунктирными линиями на временной диаграмме рис. 17, д. Среднеквадратичное значение отклика согласованного фильтра на шумовую составляющую $n(x)$ равно

$$\langle n_r^2(x) \rangle = G_0 \int_{-\infty}^{\infty} h^2(x) dx = G_0 / 3L. \quad (19)$$

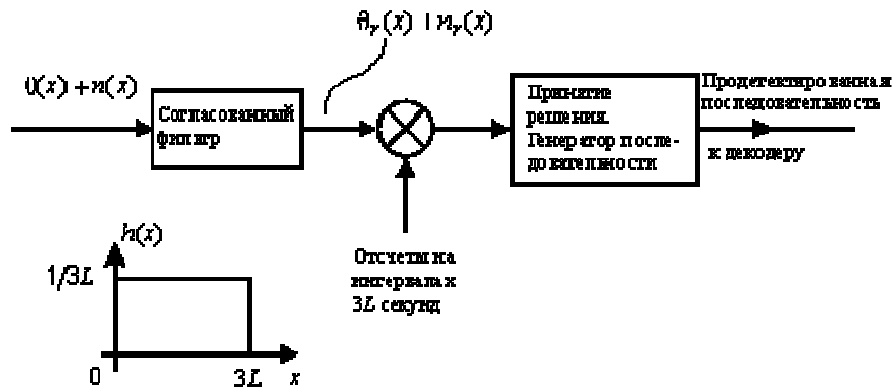


Рис. 18. Приемник АИМ сигнала с согласованным фильтром

Таким образом, величина каждой выборки на входе стробирующего устройства (рис. 18) состоит из суммы напряжения, равного амплитуде сигнала, т.е. $A/7$, $2A/7$, ..., $7A/7$, и напряжения шума со среднеквадратичным значением $\sqrt{G_0/3L}$. Для того, чтобы принимаемое решение о том, какой уровень был передан на предыдущем интервале, имело высокую достоверность (низкую частоту ошибок), среднеквадратичное значение шума должно быть мало по сравнению с разностями между уровнями, т.е. для АИМ

$$\sqrt{G_0/3L} \ll A/7, \quad (20)$$

или при условии $P_{ср} = 0,36A^2$ (средняя мощность передаваемого сигнала), $P_{ср}L/G_0 \gg 5,88$. (21)

Это соотношение характеризует мощность передаваемого сигнала и скорость, с которой данная система может передавать двоичную информацию. Таким образом, видно, что полоса пропускания обменивается на отношение сигнал-шум. Этот важный принцип теории связи позволяет объяснить многие свойства методов модуляции, например, преимущество ЧМ над АМ.

Импульсно-кодовая модуляция

Различие между импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ) и АИМ показано на рисунке 19. Каждый разряд двоичного числа передается в отдельности: 1 – импульсом длительностью L и амплитудой B , а 0 – отсутствием импульса. Если 0 и 1 равновероятны, то средняя мощность передаваемого сигнала равна $P_{ср} = 0,5B^2$, а его полоса составляет примерно $1/L$. Следовательно, ИКМ сигнал в рассматриваемом примере занимает в 3 раза более широкую полосу по сравнению с АИМ сигналом, что является серьезным недостатком.

Приемник системы ИКМ аналогичен приемнику для АИМ сигнала с тем отличием, что его согласованный фильтр должен иметь импульсную характеристику втрое меньшей длительности и в 3 раза более широкую полосу пропускания, как показано на рис. 20. В результате среднеквадратичное значение шумов на выходе приемника

$$\langle n_r^2(x) \rangle = G_0/L \quad (22)$$

в 3 раза выше по сравнению со значением для АИМ приемника. Это является недостатком ИКМ сигнала. Однако разность между уровнями сигнала на входе устройства выборки ИКМ в приемнике равна максимальной амплитуде сигнала B , а не $1/7$ амплитуды, как в АИМ системе. Благодаря этому с запасом компенсируется повышенный уровень выходных шумов, поскольку для достижения малой вероятности ошибок в ИКМ системе требуется выполнить условие

$$\sqrt{G_0/L} \ll B \quad (23)$$

$$\text{или, полагая } 0,5B^2 = P_{ср}, \\ P_{ср}L/G_0 \gg 0,5. \quad (24)$$

При одной и той же вероятности ошибок ИКМ система может иметь примерно в 10 раз меньшую мощность сигнала по сравнению с АИМ. При равных мощностях ИКМ система имеет гораздо лучшие характеристики.

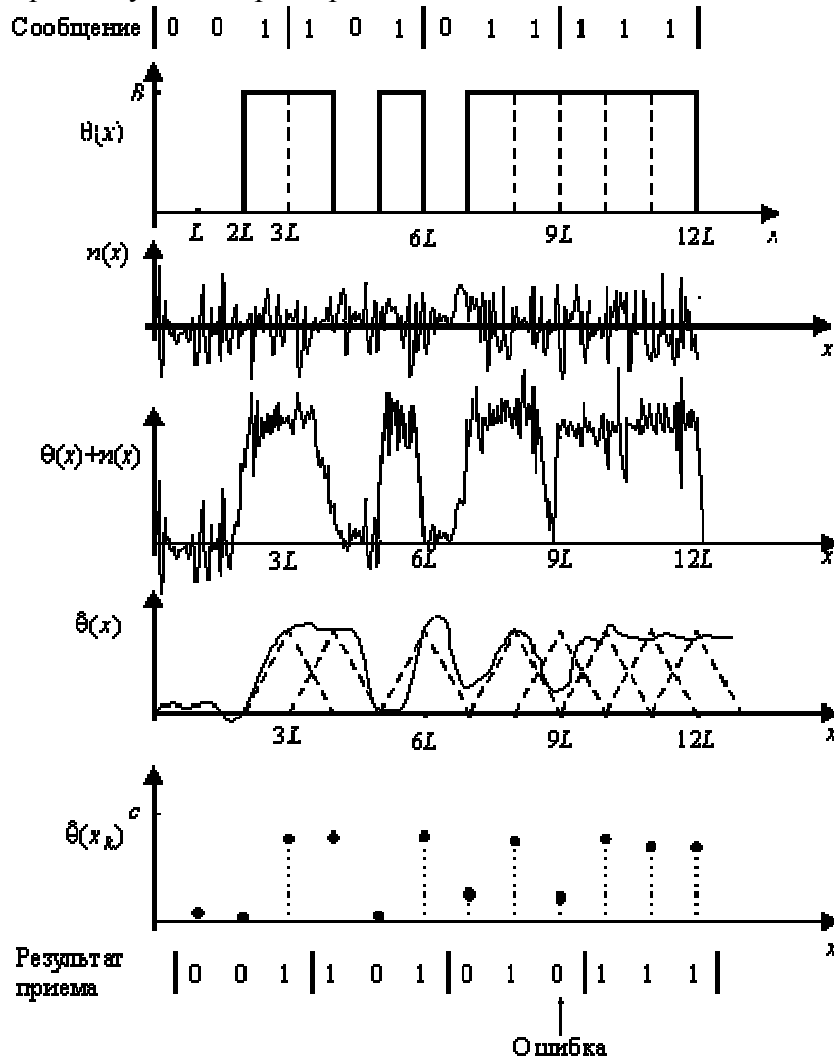


Рис. 19. Преобразование сигналов в ИКМ

Фазоимпульсная модуляция

Принцип фазоимпульсной модуляции иллюстрируется на рис. 21. По своим характеристикам она превосходит рассмотренную ИКМ систему, но этот выигрыш достигается за счет расширения полосы частот. В каждом интервале длительностью $3L$ передается один импульс с фиксированной амплитудой, но его длительность составляет всего $3L/8$ и он находится в одном из восьми временных положений. Таким образом, полоса указанного сигнала равна $8/3L$ или в 8 раз превышает полосу АИМ сигнала и в 2,7 раз больше полосы ИКМ сигнала. Средняя мощность сигнала составляет $P_{ср} = 0,125C^2$.

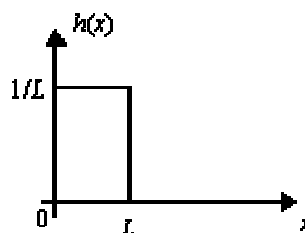


Рис. 20. Импульсный отклик согласованного фильтра протяженностью L для ИКМ сигнала; протяженностью $3L/8$ для ФИМ сигнала

Длительность импульсной характеристики согласованного фильтра составляет $3L/8$. Тогда среднеквадратическое значение выходного шума равно $\langle n_f^2(x) \rangle = 8G_0/3L$, что намного

больше по сравнению с ИКМ или АИМ. Однако при этом значительно больше и разность между уровнями сигналов. Для достижения низкой вероятности ошибок необходимо обеспечить выполнение условия

$$\sqrt{8G_0/3L} \ll C \quad (25)$$

или, полагая $P_{ср} = 0,125C^2$,
 $P_{ср}L/G_0 > 0,33$. (26)

Следовательно, ФИМ система обеспечивает такое же качество, как и ИКМ при снижении на $1/3$ средней мощности сигнала, но требуемая полоса частот в этом случае расширяется в три раза. Таким образом, в смысле обмена полосы на соотношение сигнал-шум, ФИМ-система уступает ИКМ-системе.

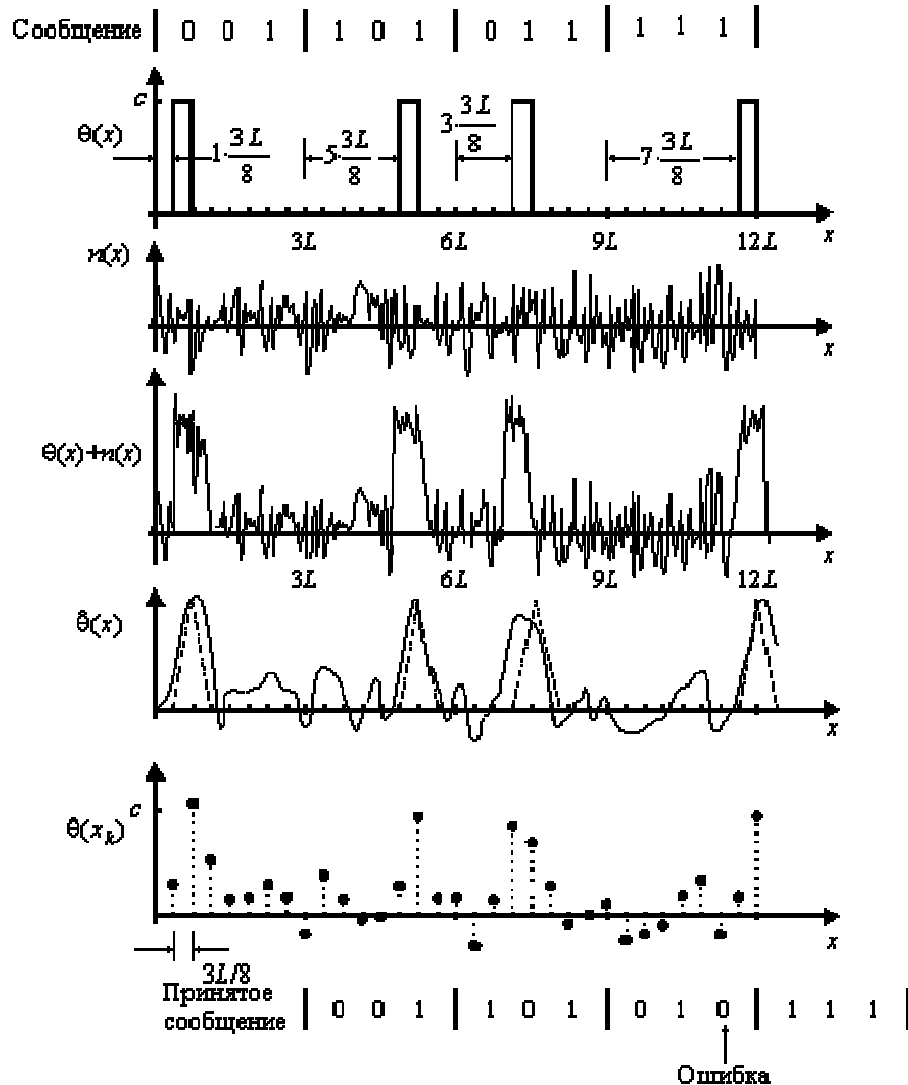


Рис. 21. Преобразование сигналов в ФИМ

Дельта-модуляция

Эффективным способом преобразования сигналов в цифровую форму является *дельта-модуляция*, которая иллюстрируется рис. 22. В каждый момент отсчета сигнал сравнивается с пилообразным напряжением на каждом шаге дискретизации d . Если отсчет сигнала превышает по амплитуде пилообразное напряжение, то последнее нарастает до следующей точки дискретизации, в противном случае оно спадает. В простейшей системе наклон пилообразного напряжения сохраняется неизменным на всем протяжении процесса. Полученный бинарный сигнал можно рассматривать как производную от пилообразного напряжения. Выбирая достаточно малым значение шага d , можно получить любую заданную

точность представления сигнала. Преимущество дельта-модуляции по сравнению, например, с ИКМ, которая также образует бинарный сигнал, заключается не столько в реализуемой точности при заданной частоте дискретизации, сколько в простоте реализации.

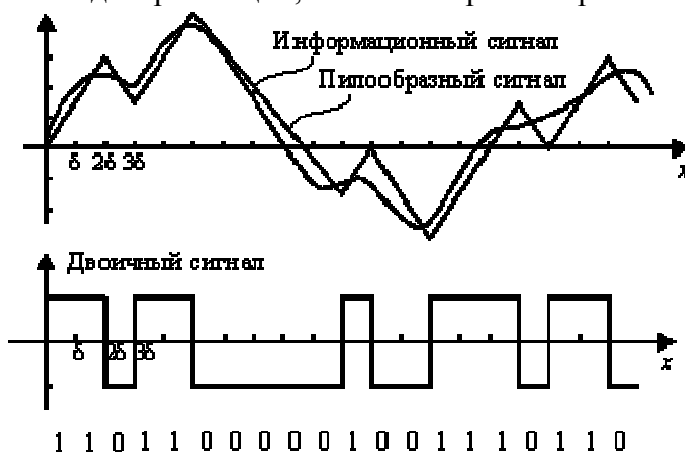


Рис. 22. Преобразование сигнала при дельта-модуляции

Пилообразное напряжение можно восстановить из бинарного сигнала путем интегрирования, а более гладкая аппроксимация достигается последующим пропусканием сигнала через фильтр нижних частот. Скорость передачи цифровых кодов, необходимую для получения заданного качества, можно значительно уменьшить, используя, например, линейное кодирование с предсказанием.

Лабораторная работа № 17 (2 часа)

Тема: «Построение сети Ethernet»

Цель работы: изучить базовую технологию локальных сетей – Ethernet. Приобрести навыки проектирования сложной вычислительной сети для организации, имеющей несколько филиалов, расположенных на достаточном расстоянии друг от друга.

Задачи работы:

1. Изучить технологию Ethernet;
2. Ознакомиться с методом доступа CSMA/CD;
3. Рассмотреть оптоволоконный Ethernet;
4. Ознакомиться с доменом коллизий.

Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Компьютерная ЛВС.

Описание (ход) работы:

В 1980 г. Институт инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (Institute of Electrical and Electronics Engineers — IEEE) организовал комитет 802, в состав которого вошли рабочие и исследовательские группы, занимающиеся стандартизацией локальных сетей. Результатом их работы стал перечень стандартов, регламентирующих проектирование локальных сетей:

- IEEE 802.1 — стандарты, относящиеся к управлению сетями;
- IEEE 802.2 — общий стандарт управления логическим соединением (Logical Link Control — LLC) и управления доступом к среде (Media Access Control — MAC);
- IEEE 802.3, 802.4, 802.5 — стандарты, определяющие управление доступом к среде передачи данных (Ethernet, FDDI, Token Ring);
- IEEE 802.6 — стандарт для городских сетей;
- IEEE 802.11 — стандарт беспроводных технологий передачи данных;
- IEEE 802.12 — стандарт, определяющий технологию передачи данных с методом доступа "приоритет запросов";
- и другие.

Технология Ethernet

Ethernet - это самый распространенный на сегодняшний день стандарт локальных сетей. В зависимости от типа физической среды стандарт IEEE 802.3 имеет различные модификации:

- 10Base-5;
- 10Base-2;
- 10Base-T;
- 10Base-FL;
- 10Base-FB;
- Fast Ethernet;
- Gigabit Ethernet.

Для передачи двоичной информации по кабелю для всех вариантов физического уровня технологии Ethernet, обеспечивающих пропускную способность 10 Мбит/с, используется манчестерский код.

Все виды стандартов Ethernet (в том числе Fast Ethernet и Gigabit Ethernet) используют один и тот же метод разделения среды передачи данных - метод CSMA/CD.

Метод доступа CSMA/CD

В сетях Ethernet используется метод доступа к среде передачи данных, называемый *методом коллективного доступа с опознаванием несущей и обнаружением коллизий (carrier-sense-multiply-access with collision detection, CSMA/CD)*.

Этот метод используется исключительно в сетях с общей шиной (к которым относятся и радиосети, породившие этот метод). Все компьютеры такой сети имеют непосредственный доступ к общей шине, поэтому она может быть использована для передачи данных между любыми двумя узлами сети. Простота схемы подключения - это один из факторов, определивших успех стандарта Ethernet. Говорят, что кабель, к которому подключены все станции, работает в режиме *коллективного доступа (multiply-access, MA)*.

Все данные, передаваемые по сети, помещаются в кадры определенной структуры и снабжаются уникальным адресом станции назначения. Затем кадр передается по кабелю. Все станции, подключенные к кабелю, могут распознать факт передачи кадра, и та станция, которая узнает собственный адрес в заголовках кадра, записывает его содержимое в свой внутренний буфер, обрабатывает полученные данные и посылает по кабелю кадр-ответ. Адрес станции-источника также включен в исходный кадр, поэтому станция-получатель знает, кому нужно послать ответ.

При описанном подходе возможна ситуация, когда две станции одновременно пытаются передать кадр данных по общему кабелю. Для уменьшения вероятности этой ситуации непосредственно перед отправкой кадра передающая станция слушает кабель (то есть принимает и анализирует возникающие на нем электрические сигналы), чтобы обнаружить, не передается ли уже по кабелю кадр данных от другой станции. Если *опознается несущая (carrier-sense, CS)*, то станция откладывает передачу своего кадра до окончания чужой передачи, и только потом пытается вновь его передать. Но даже при таком алгоритме две станции одновременно могут решить, что по шине в данный момент времени нет передачи, и начать одновременно передавать свои кадры. Говорят, что при этом происходит *коллизия*, так как содержимое обоих кадров сталкивается на общем кабеле, что приводит к искажению информации.

Чтобы корректно обработать коллизию, все станции одновременно наблюдают за возникающими на кабеле сигналами. Если передаваемые и наблюдаемые сигналы отличаются, то фиксируется *обнаружение коллизии (collision detection, CD)*. Для увеличения вероятности немедленного обнаружения коллизии всеми станциями сети, ситуация коллизии усиливается посылкой в сеть станциями, начавшими передачу своих кадров, специальной последовательности битов, называемой *jam-последовательностью*.

После обнаружения коллизии передающая станция обязана прекратить передачу и ожидать в течение случайного интервала времени, а затем может снова сделать попытку передачи кадра (рисунок 6.1).

Метод CSMA/CD определяет основные временные и логические соотношения, гарантирующие корректную работу всех станций в сети:

- Между двумя последовательно передаваемыми по общей шине кадрами информации должна выдерживаться пауза в 9.6 мкс; эта пауза нужна для приведения в исходное состояние сетевых адаптеров узлов, а также для предотвращения монопольного захвата среды передачи данных одной станцией.
- При обнаружении коллизии станция выдает в среду специальную 32-х битную последовательность (*jam-последовательность*), усиливающую явление коллизии для более надежного распознавания ее всеми узлами сети.
- После обнаружения коллизии каждый узел, который передавал кадр и столкнулся с коллизией, после некоторой задержки пытается повторно передать свой кадр. Узел делает максимально 16 попыток передачи этого кадра информации, после чего отказывается от его передачи. Величина задержки выбирается как равномерно распределенное случайное число из интервала, длина которого экспоненциально

увеличивается с каждой попыткой. Такой алгоритм выбора величины задержки снижает вероятность коллизий и уменьшает интенсивность выдачи кадров в сеть при ее высокой загрузке.

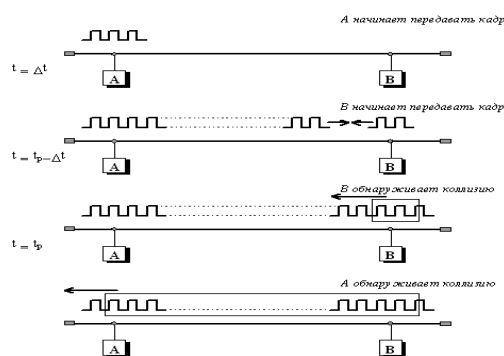


Рисунок 1 - Схема возникновения коллизии в методе случайного доступа CSMA/CD (t_p - задержка распространения сигнала между станциями A и B)

Все параметры протокола Ethernet подобраны таким образом, чтобы при нормальной работе узлов сети коллизии всегда четко распознавались. Именно для этого минимальная длина поля данных кадра должна быть не менее 46 байт. Длина кабельной системы выбирается таким образом, чтобы за время передачи кадра минимальной длины сигнал коллизии успел бы распространиться до самого дальнего узла сети. Поэтому для скорости передачи данных 10 Мб/с, используемой в стандартах Ethernet, максимальное расстояние между двумя любыми узлами сети не должно превышать 2500 метров. Независимо от реализации физической среды, все сети Ethernet должны удовлетворять двум ограничениям, связанным с методом доступа: максимальное расстояние между двумя любыми узлами не должно превышать 2500 м; в сети не должно быть более 1024 узлов.

Оптоволоконный Ethernet

В качестве среды передачи данных 10 мегабитный Ethernet использует оптическое волокно. Оптоволоконные стандарты в качестве основного типа кабеля рекомендуют достаточно дешевое оптическое волокно, обладающее полосой пропускания 500-800 МГц при длине кабеля 1 км.

Функционально сеть Ethernet на оптическом кабеле состоит из тех же элементов, что и сеть стандарта 10Base-T - сетевых адаптеров, многопортового повторителя и отрезков кабеля, соединяющих адаптер с портом повторителя. Как и в случае витой пары, для соединения адаптера с повторителем *используются два оптоволоконна* - одно соединяет выход T_x адаптера со входом R_x повторителя, а другое - вход R_x адаптера с выходом T_x повторителя.

Стандарт FOIRL (Fiber Optic Inter-Repeater Link) представляет собой первый стандарт комитета 802.3 для использования оптоволоконна в сетях Ethernet. Он гарантирует длину оптоволоконной связи между повторителями до 1 км при общей длине сети не более 2500 м. Максимальное число повторителей между любыми узлами сети - 4. Максимального диаметра в 2500 м здесь достичь можно, хотя максимальные отрезки кабеля между всеми 4 повторителями, а также между повторителями и конечными узлами недопустимы - иначе получится сеть длиной 5000 м.

Стандарт 10Base-FL представляет собой незначительное улучшение стандарта FOIRL. Увеличена мощность передатчиков, поэтому максимальное расстояние между узлом и концентратором увеличилось до 2000 м. Максимальное число повторителей между узлами осталось равным 4, а максимальная длина сети - 2500 м.

Стандарт 10Base-FB предназначен только для соединения повторителей. Конечные узлы не могут использовать этот стандарт для присоединения к портам концентратора.

Между узлами сети можно установить до 5 повторителей 10Base-FB при максимальной длине одного сегмента 2000 м и максимальной длине сети 2740 м.

Как и в стандарте 10Base-T, оптоволоконные стандарты Ethernet разрешают соединять концентраторы только в древовидные иерархические структуры. Любые петли между портами концентраторов не допускаются.

Домен коллизий

В технологии Ethernet, независимо от применяемого стандарта физического уровня, существует понятие домена коллизий.

Домен коллизий (collision domain) - это часть сети Ethernet, все узлы которой распознают коллизию независимо от того, в какой части этой сети коллизия возникла. Сеть Ethernet, построенная на повторителях, всегда образует один домен коллизий. Домен коллизий соответствует одной разделяемой среде. Мосты, коммутаторы и маршрутизаторы делят сеть Ethernet на несколько доменов коллизий.

Задание

Спроектировать вычислительную сеть для организации, имеющей несколько филиалов в различных городах. Используется 4 филиала в 4 населенных пунктах. Число компьютеров в каждом филиале - 5-5-8-6. Расстояние между сегментами -25-20-25-20 км.

При проектировании использовать максимально возможное разнообразие коммуникационного оборудования. На схеме указать типы использованных сред передачи данных.

Определить несколько маршрутов продвижения пакета из одного узла в другой, составить таблицу маршрутизации.

Спроектировать сеть для организации, которая состоит из нескольких филиалов (варианты представлены в таблице А.1).

Таблица А.1

ВАРИАНТ	Количество филиалов	Число компьютеров в каждом филиале	Количество населенных пунктов	Расстояние между сегментами, км
1	7	(12)-(24-5)	6	250-(0,4)
2	8	(10-10)-(24-11)	6	(1,8)-120-(0,15)
3	9	2-3-12-8-16	5	0,2-1,5-0,13-0,4
4	7	12-26-18	7	18-23
5	8	5-8-4-6	8	250-500-750
6	6	18-24	6	530
7	8	(10)-(8-7)-(29)	7	123-(0,2)-12
8	7	(8-19)-(23)	6	0,2-300
9	9	(12-12-14)-(8-12)	6	(0,3-0,4)-(0,25)
10	8	5-5-8-6	8	25-20-25-20
11	7	12-8-14	7	21-10
12	6	36-8	6	12-5
13	8	(12-2-3)-(15)	6	(1,8-0,4-0,9)-13
14	7	(10-8)-(16-14)	6	14-3
15	6	12-60	6	126
16	9	12-2-8-24-10	5	2-5-12-0,8
17	8	(11-5)-(3-12)	6	8-17
18	7	14-14-8	5	250-300
19	6	24-36	5	12
20	7	9-21-3	7	45-12-100

Необходимо добиться максимальной эффективности использования сети по критерию цена-качество-скорость.